

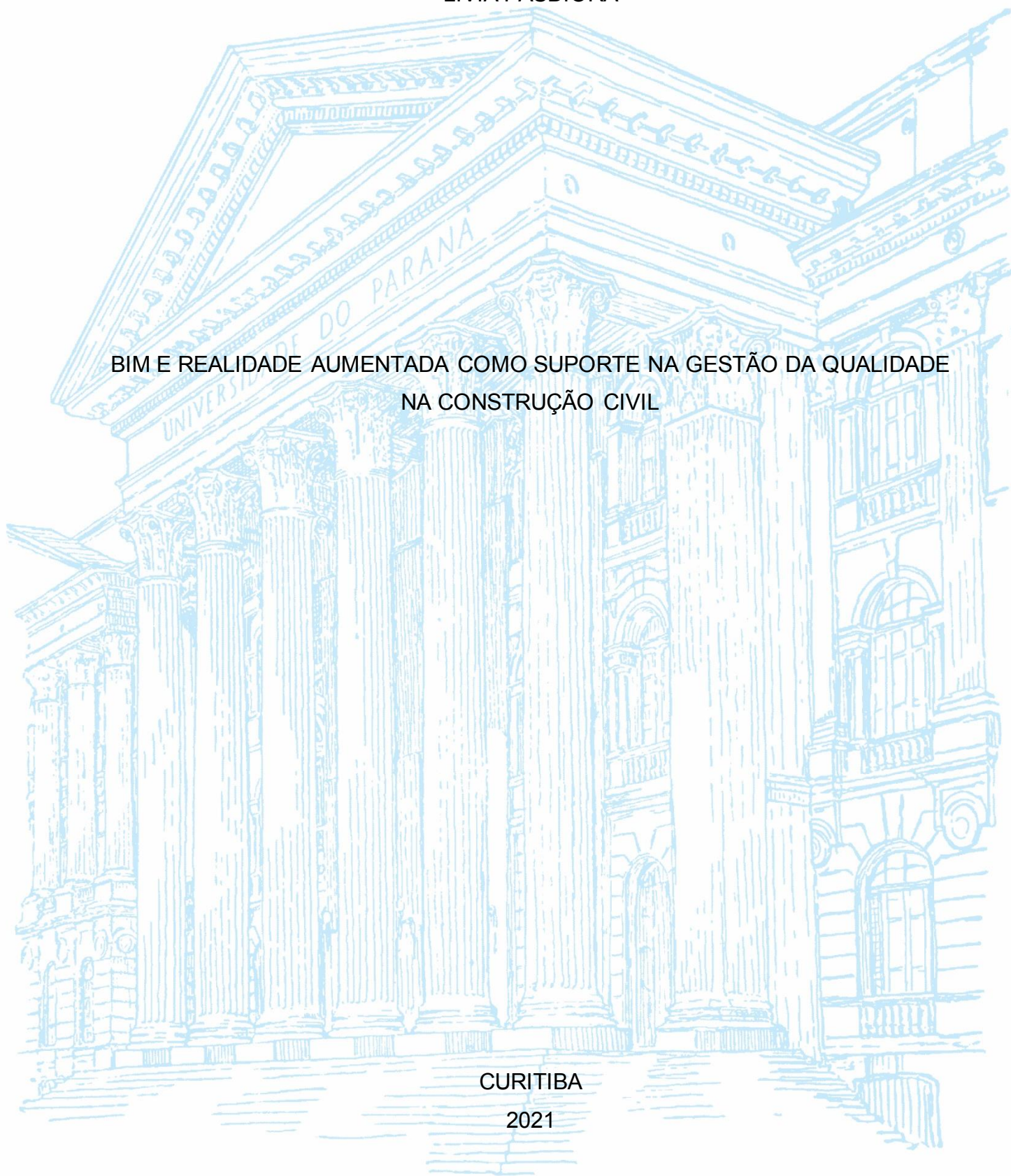
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LÍVIA PASDIORA

BIM E REALIDADE AUMENTADA COMO SUPORTE NA GESTÃO DA QUALIDADE
NA CONSTRUÇÃO CIVIL

CURITIBA

2021



LÍVIA PASDIORA

BIM E REALIDADE AUMENTADA COMO SUPORTE NA GESTÃO DA QUALIDADE
NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Profª Dra. Adriana de Paula Lacerda Santos

CURITIBA

2021

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

P281b Pasdiora, Livia
BIM e realidade aumentada como suporte na gestão da qualidade na construção civil [recurso eletrônico] / Livia Pasdiora. – Curitiba, 2021.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021.

Orientadora: Adriana de Paula Lacerda Santos.

1. Modelagem de informação da construção. 2. Realidade Aumentada. 3. Controle de qualidade.
I. Universidade Federal do Paraná. II. Santos, Adriana de Paula Lacerda. III. Título.

CDD: 624

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **LÍVIA PASDIORA** intitulada: **BIM E REALIDADE AUMENTADA COMO SUPORTE NA GESTÃO DA QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**, sob orientação da Profa. Dra. ADRIANA DE PAULA LACERDA SANTOS, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 31 de Março de 2021.

Assinatura Eletrônica

31/03/2021 14:55:37.0

ADRIANA DE PAULA LACERDA SANTOS

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

31/03/2021 15:12:33.0

MARCIO FONTANA CATAPAN

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

31/03/2021 13:53:11.0

SÉRGIO SCHEER

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Neusa e Antonio, e as minhas irmãs, Letícia e Helena, pelo apoio incondicional durante todo esse caminho.

A minha orientadora, Prof.^a Adriana de Paula Lacerda Santos, pela orientação, aprendizado, apoio e confiança durante o processo de escrita.

Ao Oliver, por estar sempre ao meu lado trazendo alegria em todos os momentos.

Aos professores Sérgio Scheer e Márcio Catapan, pelo apoio na condução e dessa pesquisa.

A CRON Engenharia e toda sua equipe, por incentivarem e colaborarem com o desenvolvimento do projeto.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação e Engenharia Civil (PPGEC), pela parceria e amizade, contribuindo com a realização desse trabalho.

A todos os amigos que de alguma forma colaboraram e incentivaram a conclusão desse trabalho.

A todos vocês, meus sinceros agradecimentos.

*“Não são nossas habilidades que
mostram quem realmente somos,
são as nossas escolhas.”
(Alvo Dumbledore)*

RESUMO

A gestão da qualidade é um conceito que está presente desde a Primeira Revolução Industrial, mas só começou a ser realmente aplicada no Brasil após a criação do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat, em 1998. Desde então, os gestores da construção civil têm procurado formas para atingir o controle efetivo da qualidade do canteiro de obras. O BIM (*Building Information Modeling*) é uma promessa tecnológica que já está se consolidando no mercado, possibilitando a modelagem digital de uma edificação. Porém, mesmo sendo um importante avanço na prática de projeto, seu uso em canteiros de obra ainda é limitado. O uso de dispositivos móveis e tecnologias de visualização como Realidade Aumentada são algumas soluções disponíveis para aperfeiçoar a troca de informações, permitindo melhor uso do BIM em campo. Tendo em vista este cenário, o presente trabalho buscou investigar se o uso de *smartphones* e realidade aumentada pode aperfeiçoar o processo de checagem de qualidade na obra. A metodologia utilizada para condução do trabalho foi a *Design Science Research* (DSR) e o artefato resultante do processo de pesquisa foi a documentação da transcrição de um modelo BIM para uso e visualização em RA. A avaliação do processo de transcrição se deu através do desenvolvimento de um protótipo, seguindo o processo documentado, com a finalidade de checagem de qualidade durante o processo construtivo. O protótipo foi validado através de testes com voluntários, que utilizaram o aplicativo e deram notas para suas funcionalidades. Concluiu-se que o uso de smartphones e RA pode ser uma importante ferramenta na aferição de qualidade durante o processo construtivo.

Palavras-chave: Realidade Aumentada. BIM. Gestão da Qualidade. Unity. ARFoundation.

ABSTRACT

Quality management is a concept that has been present since the First Industrial Revolution, but it only started to be really applied in Brazil after the creation of the Brazilian Habitat Quality and Productivity Program, in 1998. Since then, civil construction managers have sought ways to achieve effective quality control at the construction site. BIM (Building Information Modeling) is a technological promise that is already consolidating itself in the market, enabling the digital modeling of a building. However, even though it is an important advance in the design practice, its use in construction sites is still limited. The use of mobile devices and visualization technologies such as Augmented Reality are some solutions available to improve the exchange of information, allowing better use of BIM in the construction field. Considering this scenario, the present research sought to investigate whether the use of smartphones and augmented reality can improve the quality check process on construction sites. The methodology used to conduct the work was Design Science Research (DSR) and the artifact resulting from the research process was the documentation of the transcription of a BIM model for use and visualization in AR. The evaluation of the transcription process took place through the development of a prototype, following the documented process, with the purpose of checking quality during the construction process. The prototype was validated through tests with volunteers, who used the application and gave notes for its functionality. It was concluded that the use of smartphones and AR can be an important tool in measuring quality during the construction process.

Keywords: Augmented Reality. BIM. Quality Management. Unity. ARFoundation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIGITALIZAÇÃO EM DIFERENTES INDÚSTRIAS	19
FIGURA 2 – TENDÊNCIAS PARA A ORGANIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DIGITAL.....	20
FIGURA 3 - AS QUATRO REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS	27
FIGURA 4 – CONTÍNUO DE REALIDADES	33
FIGURA 5 – POKÉMON GO	33
FIGURA 7 – RASTREAMENTO POR MARCADORES	38
FIGURA 8 – RASTREAMENTO VIA GPS	39
FIGURA 9 – RA-BIM DE MESA.....	42
FIGURA 10 – RA-BIM PORTÁTIL	42
FIGURA 11 – CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	44
FIGURA 12 - MÉTODO PARA A CONDUÇÃO DA DSR	45
FIGURA 13 - PASSOS DA DSR APLICADOS A ESTA PESQUISA	46
FIGURA 14 - ETAPAS DA RSL	51
FIGURA 15 – INTERFACE DO UNITY	58
FIGURA 16 – INSTALAÇÃO DOS PLUG-INS DENTRO DO UNITY	59
FIGURA 17 - FORMATOS DE ARQUIVO 3D EXPORTADOS PELO ARCHICAD	62
FIGURA 18 – MODELOS UTILIZADOS NOS TESTES	63
FIGURA 19 – MODELOS NO ARCHICAD	63
FIGURA 20 - NOMENCLATURA DAS TEXTURAS DENTRO DO ARCHICAD	64
FIGURA 21 – EXTRACT MATERIALS	64
FIGURA 22 – AJUSTE HORIZONTAL DA POSIÇÃO DA ORIGEM.....	66
FIGURA 23 – AJUSTE VERTICAL DA POSIÇÃO DA ORIGEM	67
FIGURA 24 – NOMENCLATURA DE TEXTURAS	67
FIGURA 25 – PROCESSO DE EXPORTAÇÃO	68
FIGURA 26 – AJUSTES DE EXPORTAÇÃO	68
FIGURA 27 – GENERATE COLLIDERS	69
FIGURA 28 – MODO DE RENDERIZAÇÃO.....	70
FIGURA 29 – CONFIGURAÇÃO DE TRANSPARÊNCIA	70
FIGURA 30 – FUNCIONALIDADES DO PROTÓTIPO	71
FIGURA 31 – FLUXO DE FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO	72
FIGURA 32 – TELA INICIAL	73
FIGURA 33 - INSTRUÇÕES	74
FIGURA 34 – AR PLANE MANAGER.....	74
FIGURA 35 – QR CODE UTILIZADO	75
FIGURA 36 – CÓDIGOS E PREFABS FORNECIDOS PELO UNITY	75

FIGURA 37 – CUBOS PARA CHECAGEM DOS PONTOS	76
FIGURA 38 – MUDANÇA DE VALORES DE MEDIDA	77
FIGURA 39 – CÓDIGO PARA MUDANÇA DE COR	77
FIGURA 40 – CÓDIGO PARA SELEÇÃO DE OBJETOS	78
FIGURA 41 – CATEGORIA CRIADA PARA SELEÇÃO DE OBJETOS	78
FIGURA 42 – BOTÕES REGISTRAR E RELATÓRIO	79
FIGURA 43 – CÓDIGO SCREENSHOT	80
FIGURA 44 – CÓDIGO BOTÃO RELATÓRIO	80
FIGURA 45 – PLANTA BAIXA DA SALA.....	81
FIGURA 46 – POSICIONAMENTO DO MARCADOR.....	82
FIGURA 47 – TESTE DE LEITURA DO QR CODE	83
FIGURA 48 – TESTE DE TRANSPARÊNCIA	83
FIGURA 49 – FALHAS NO POSICIONAMENTO	84
FIGURA 50 – RECONHECIMENTO DE PLANOS	85
FIGURA 51 – CONFERÊNCIA DA FERRAMENTA FITA MÉTRICA.....	86
FIGURA 52 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO	87
FIGURA 53 – PONTO EM LOCAL CORRETO	87
FIGURA 54 – PONTO DENTRO DA TOLERÂNCIA DE ERRO	88
FIGURA 55 – PONTO EM LOCAL INCORRETO.....	88
FIGURA 56 - RELATÓRIO	89
FIGURA 57 – PLANILHA PARA CONTROLE DE CONFERÊNCIAS	90

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - RECEITA BRUTA DAS EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL	17
GRÁFICO 2 – CRESCIMENTO DO INVESTIMENTO EM RA E RV	21
GRÁFICO 3 – CONTABILIZAÇÃO DOS SOFTWARES PRESENTES NA RSL	53
GRÁFICO 4 – FORMAÇÃO DOS VOLUNTÁRIOS DA PESQUISA	92

LISTA DE QUADROS E TABELAS

TABELA 1 - PROTOCOLO PARA ELABORAÇÃO DA RSL	50
QUADRO 1 – TERMOS DE BUSCA, FONTES UTILIZADAS E RESPECTIVOS RESULTADOS	51
QUADRO 2 – CLASSES DE PROBLEMAS	52
QUADRO 3 – AVALIAÇÃO DE FERRAMENTAS RA	57
QUADRO 4 – ESPECIFICAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	61
QUADRO 5 – MODELOS EXPORTADOS PELO ARCHICAD ACEITOS PELO UNITY	62
QUADRO 6 – ANÁLISE DE MODELOS EM DIFERENTES FORMATOS	65
QUADRO 7 – SÍNTESE DOS RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS	90
QUADRO 8 – ITENS PARA AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO	91
QUADRO 9 – MÉDIA DAS NOTAS DE CADA ITEM DE AVALIAÇÃO	93

LISTA DE ABREVIATURAS

AEC	- Arquitetura, engenharia e construção
API	- <i>Application Programming Interface</i>
BIM	- <i>Building Information Modelling</i>
DSR	- <i>Design Science Research</i>
GPS	- <i>Global Positioning System</i>
IFC	- <i>Industry Foundation Classes</i>
IoT	- <i>Internet of Things</i>
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
PBQP-H	- Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PBQP	- Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade
PMCMV	- Programa Minha Casa Minha Vida
PSQ	- Programas Setoriais da Qualidade
RA	- Realidade Aumentada
RM	- Realidade Mista
RSL	- Revisão Sistemática da Literatura
RV	- Realidade Virtual
SDK	- <i>Software Development Kit</i>
TQC	- <i>Total Quality Control</i>
UX	- <i>User Experience</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO	16
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	21
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	22
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1 GESTÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL	23
2.1.1 Controle da Qualidade	23
2.2 DIGITALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	26
2.3 BUILDING INFORMATION MODELLING - BIM	30
2.3.1 BIM no controle de qualidade	31
2.4 REALIDADE AUMENTADA	32
2.4.1 Histórico	32
2.4.2 Definição	34
2.4.3 Mecanismos de funcionamento em smartphones	36
2.4.3 Princípios de funcionamento	38
2.4.1 RA na construção civil	40
2.5 INTEGRAÇÃO BIM E RA	40
3 MÉTODO DE PESQUISA	43
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	43
3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA	45
3.2.1 Etapa 1: Motivação	46
3.2.2 Etapa 2: Sugestão	46
3.2.3 Etapa 3: Projeto e desenvolvimento do artefato	47
3.2.4 Etapa 4: Avaliação e validação	48
3.2.5 Etapa 5: Conclusão	49
4 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA E AVALIAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA DESENVOLVIMENTO RA	50
4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	50
4.2 LEVANTAMENTO DE OPÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO RA	53
4.2.1 Unity 3D	54
4.2.2 Unreal Engine	54
4.2.3 Vuforia	54

4.2.4 Metaio SDK e Junaio.....	55
4.2.5 ARKit.....	55
4.2.6 ARCore	56
4.2.7 ARFoundation.....	56
4.3 AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS RA DISPONÍVEIS	56
5 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	60
5.1 CONFIGURAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO EM RA.....	60
5.1.1 Sistema operacional e dispositivo móvel	60
5.1.2 SDK, motor de jogo e linguagem de programação	61
5.1.3 Demais especificações.....	61
5.2 REQUISITOS DE MODELAGEM E EXPORTAÇÃO DO MODELO BIM.....	61
5.2.1 Exportação	62
5.2.2 Modelagem	66
5.4 CONFIGURAÇÕES INICIAIS NO UNITY	69
5.5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO NO UNITY	71
5.5.1 Menu Inicial	73
5.5.2 Reconhecimento de Planos	74
5.5.3 Leitura do QR Code	75
5.5.4 Medição	75
5.5.5 Checagem	76
5.5.6 Documentação	79
6 AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO	81
6.1 EXPERIMENTO I	82
6.2 EXPERIMENTO II	82
6.3 EXPERIMENTO III	84
7 VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	91
7.1 PERFIL DOS VOLUNTÁRIOS	92
7.2 AVALIAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES DO PROTÓTIPO	93
7.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS	93
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
8.1 CONCLUSÕES	95
8.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	96
REFERÊNCIAS	97
APÊNDICE I – CÓDIGO FITA MÉTRICA (ADAPTADO DE: DILMERV)	107
APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO PARA VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO	110

1 INTRODUÇÃO

O conceito de qualidade (do latim *qualitas*) surgiu na Grécia Antiga, com o filósofo grego Aristóteles. Porém, só obteve maior expressividade após a Primeira Revolução Industrial, no século XVII, com o aumento da escala de produção e o surgimento da prática de controle de qualidade, com o objetivo de evitar os custos provenientes do retrabalho. No Brasil, a qualidade começa a ter maior destaque a partir da década de 80, impulsionada pela indústria automobilística. O primeiro grande passo para a normatização da qualidade no cenário brasileiro foi dado pelo Governo Federal, em 1991, com a criação do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade (PBQP), para promover a reestruturação da indústria nacional. O objetivo foi fomentar a gestão da qualidade em empresas nacionais, para aumentar a competitividade destas com as empresas internacionais. No âmbito da construção civil, a categoria foi criada apenas em 1992, a partir do Subprograma Setorial da Qualidade e Produtividade da Indústria da Construção Civil, evoluindo mais tarde para Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) (PINHEIRO; CRIVELARO, 2014).

Em 2009, diante do agravamento da crise financeira que acometia o Brasil e o restante do mundo, o Governo Federal lançou um conjunto de ações para estimular diversos setores da economia nacional. Entre as medidas adotadas, destaca-se o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), que subsidia a aquisição de casas e apartamentos para famílias de baixa renda. Os investimentos iniciais foram de aproximadamente 38 bilhões de reais, o que aqueceu o setor da construção civil e aumentou a construção de residências em massa (BRASIL, 2010). Porém, ao assumir como lema a construção de um milhão de moradias, o programa fortaleceu a perspectiva quantitativa da medida, deixando de lado questões como a qualidade e o impacto urbano dos empreendimentos (FERREIRA, 2012). Tendo em vista essa situação, o PBQP-H foi instituído como pré-requisito para a aprovação do financiamento de projetos para construtoras e incorporadoras que visam construir dentro do PMCMV (BRASIL, 2010).

Para um efetivo controle da qualidade e do canteiro de obras como um todo, os gestores da construção precisam acessar dados em tempo real, tanto do próprio canteiro em si como do escritório. Eles normalmente utilizam folhas de papel ou

cadernos de anotações, o que resulta em grandes sobrecargas de trabalho, possíveis falhas na checagem e diminuição da produtividade (KIMOTO et al., 2005).

Um dos grandes avanços na indústria AEC (arquitetura, engenharia e construção) é o BIM (*Building Information Modelling*), que possibilita a modelagem digital de uma edificação, gerando um modelo computacional que fornece todas as informações necessárias sobre o empreendimento (Eastman et al., 2014). Porém, mesmo figurando como uma importante transição na prática de projeto, a adoção do BIM tem encontrado algumas barreiras quando experimentada na prática, pois a grande quantidade de dados gerados pelo modelo 3D não consegue comunicar-se de maneira efetiva com o canteiro de obras, por problemas como visualização e falta de familiaridade com os softwares BIM (WANG et al, 2013).

O uso de dispositivos móveis pode aperfeiçoar essa troca de informações entre escritório e canteiro de obras, melhorando a produtividade na construção como um todo (PASCOE; RYAN; MORSE, 1998 *apud* KIMOTO et al., 2005). Dentre os mais marcantes avanços na tecnologia de dispositivos móveis nos últimos anos, a realidade aumentada (RA), que tem a capacidade de sobrepor informações virtuais no ambiente real, se mostra um importante aliado na inspeção de qualidade no canteiro de obras (PARK et al., 2013).

Neste contexto, a presente dissertação visou documentar o processo de conversão de um modelo BIM para Realidade Aumentada (RA), através do desenvolvimento do protótipo de um aplicativo para *smartphone*, que tem como finalidade checar a qualidade das edificações durante o processo de construção das mesmas. Portanto, o problema de pesquisa investigado foi: **O uso de *smartphones* e realidade aumentada pode aperfeiçoar o processo de checagem de qualidade na obra?**

1.1 OBJETIVO

Essa pesquisa teve como objetivo geral documentar a conversão de um modelo BIM para RA, através do desenvolvimento do protótipo de um aplicativo para *smartphones*, com a finalidade de checar a qualidade em obras.

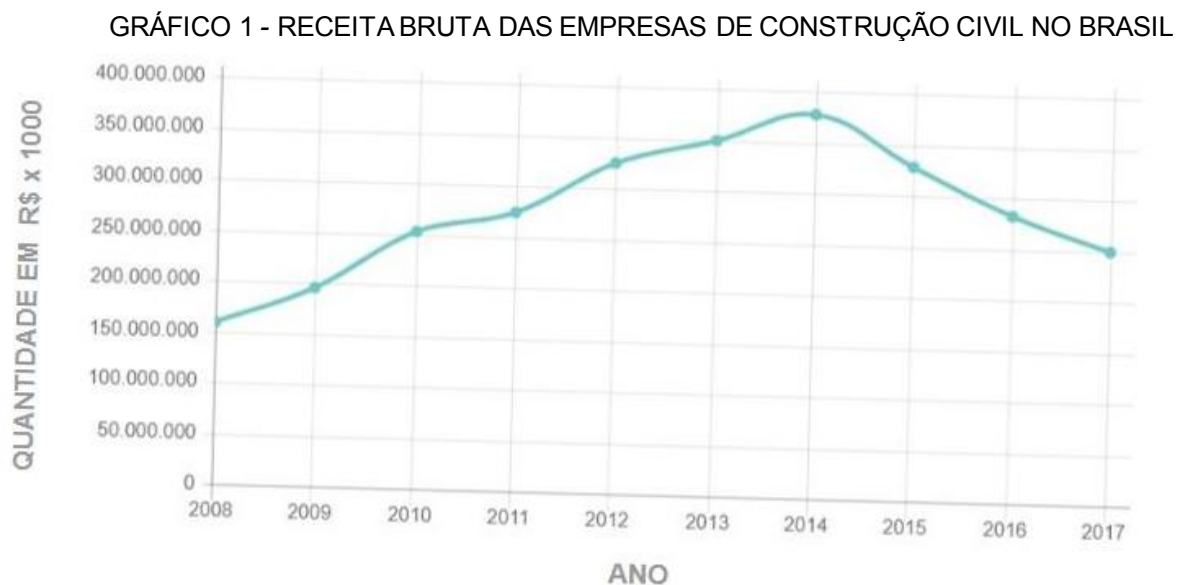
Os objetivos específicos foram:

- Comparação de ferramentas para desenvolvimento de RA com foco na construção civil;

- Avaliação de diferentes formatos de arquivos para conversão de BIM em RA;
- Desenvolvimento do protótipo de um aplicativo para checagem de qualidade em obra;
- Realização de teste piloto para aferir a funcionalidade do protótipo.

1.2 JUSTIFICATIVA

A construção civil brasileira, em alta no início da década, teve uma forte queda a partir de 2014, conforme mostra o GRÁFICO 1. Diante desse cenário, o aumento da competitividade entre empresas do ramo se faz cada vez mais presente. De acordo com a norma ISO 9001 (2008), um eficiente sistema de gestão de qualidade garante a satisfação das necessidades dos clientes, o que contribuirá para o crescimento e destaque da empresa entre seus concorrentes.



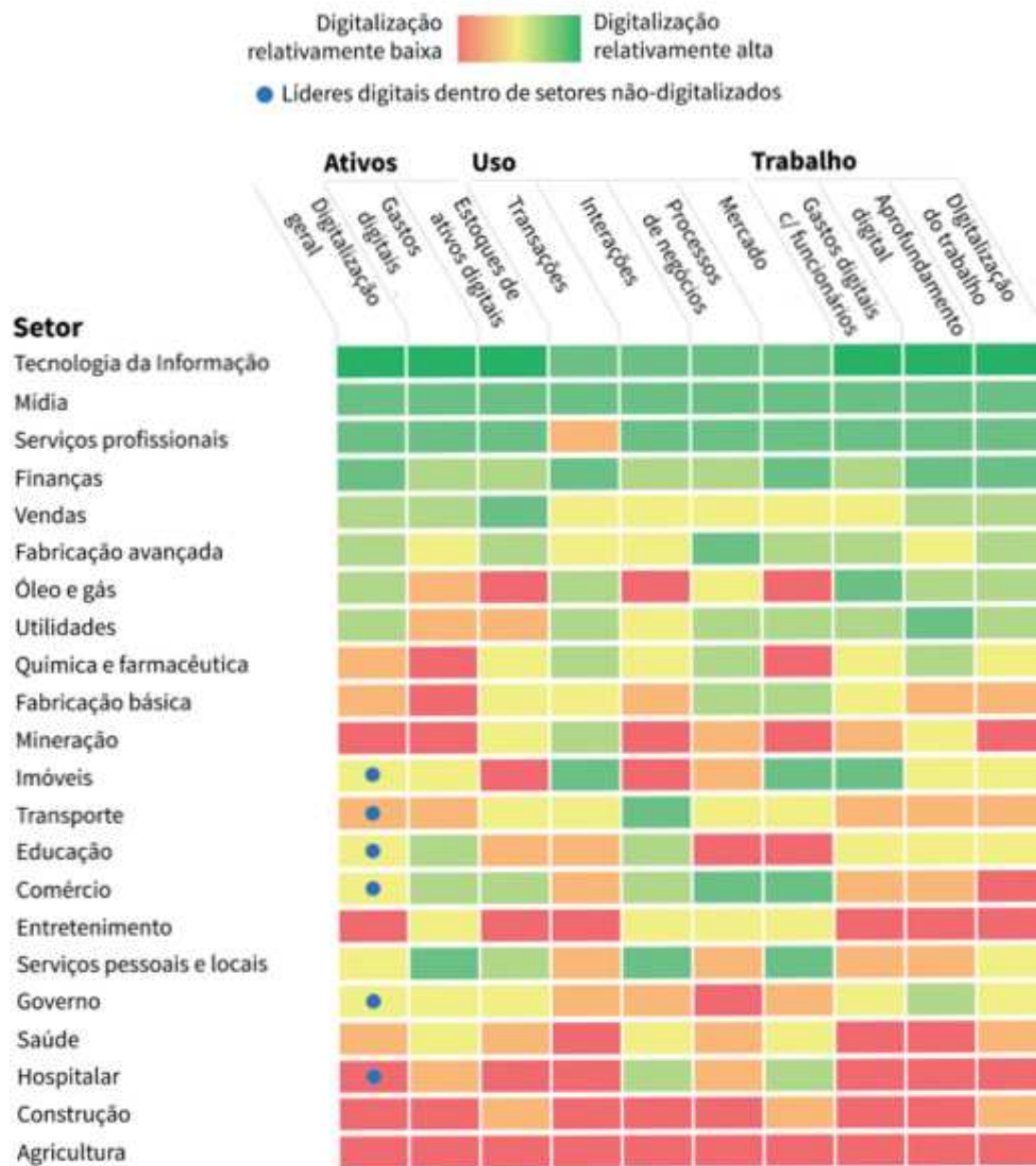
FONTE: Adaptado de IBGE (2017)

A produção de obras e serviços, independente da escala, sempre procurou buscar o equilíbrio entre preço, prazo e qualidade, embora frequentemente tais conceitos estivessem subentendidos nos contratos. Aspectos dúbios, subentendidos e omissões, sejam estes intencionais ou não, causam inúmeros prejuízos a consumidores e até mesmo a fornecedores (THOMAZ, 2001). O projeto e a construção de instalações na indústria da AEC apresentam problemas de difícil gerenciamento no âmbito da qualidade na construção (BALLARD, 2000). O autor pontua que a troca de informação entre os envolvidos deve ser feita desde a

concepção do projeto, porém essas informações são passadas de forma incompleta, gerando incertezas no processo construtivo. Além disso, as formas tradicionais de controle deixam por muitas vezes a gestão da qualidade de lado, pois focam majoritariamente no cumprimento do orçamento e cronograma. A integração entre os controles de qualidade e produção é a chave para o acompanhamento efetivo da obra como um todo. Os dispositivos móveis figuram, portanto, como uma alternativa interessante para facilitar a troca de informações.

Isso está pautado no fato de que estamos vivenciando a quarta revolução industrial, que impacta diferentes aspectos na economia, sociedade e cultura, o que afeta diretamente a forma como gerenciamos as construções (SCHWAB, 2016). Mesmo dentro deste contexto, um estudo feito em 2015 pela empresa de consultoria McKinsey revela que a digitalização no ramo de AEC ocupa um dos últimos lugares no ranking (FIGURA 1). Segundo os responsáveis pelo estudo, as principais razões que colocam a construção civil nessa colocação são a comunicação falha entre o canteiro e o escritório, a falta de incentivo à inovação e o uso de práticas pouco sofisticadas na cadeia de suprimentos. Uma das soluções apontadas pela McKinsey para vencer essa barreira é a colaboração digital e mobilidade, onde o BIM e a RA encaixam-se.

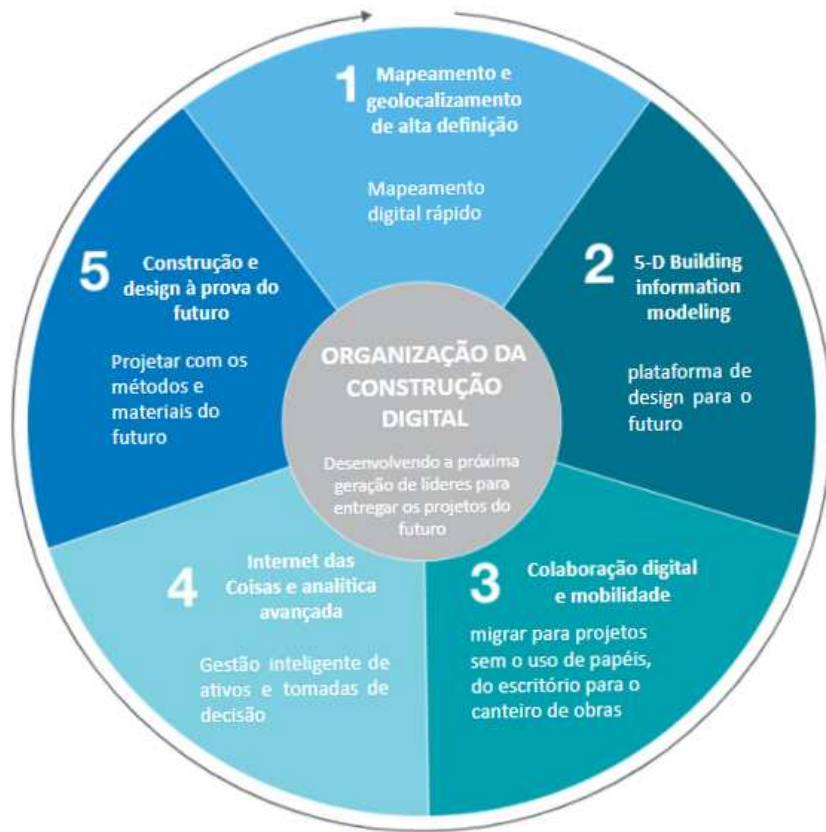
FIGURA 1 – DIGITALIZAÇÃO EM DIFERENTES INDÚSTRIAS



FONTE: Buildin (2018) adaptado de Mckinsey (2015)

No mesmo ano, a Mckinsey fez um levantamento sobre as principais tendências para a construção civil e trouxe a colaboração digital e mobilidade como uma delas (FIGURA 2).

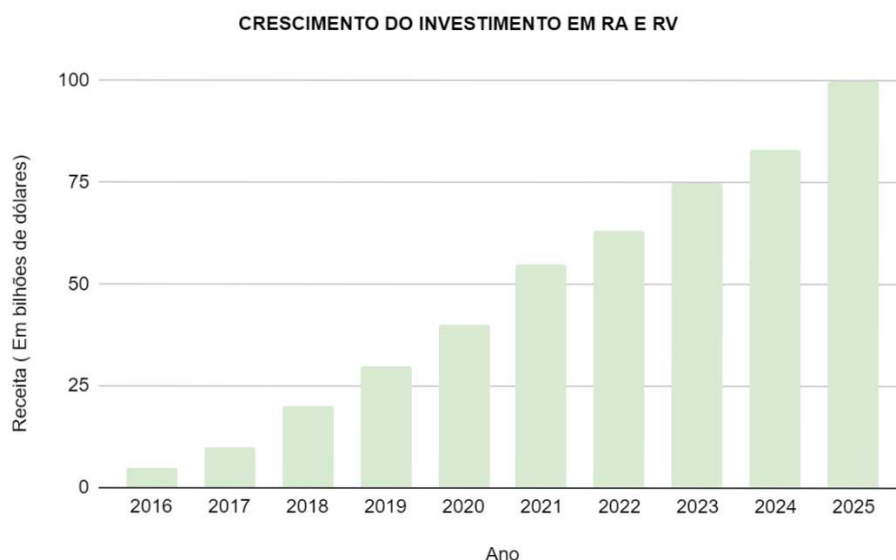
FIGURA 2 – TENDÊNCIAS PARA A ORGANIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DIGITAL



FONTE: Adaptado de McKinsey (2015)

Em 2020, a mesma organização trouxe uma nova análise acerca das tendências que ainda estavam em alta no ramo da digitalização na construção civil. Foi pontuado que análises digitais, embasadas em tecnologias como drones, *lasers* e RA/RV estão tendo um significativo impacto na gestão da construção, e continuarão em crescimento pelos próximos anos (McKinsey, 2020). Num contexto geral, englobando diversas indústrias, a demanda por tecnologias pautadas em RA e RV vem ganhando destaque nos últimos anos, e é previsto que continuará crescendo conforme mostra o GRÁFICO 2 (McKinsey, 2017).

GRÁFICO 2 – CRESCIMENTO DO INVESTIMENTO EM RA E RV



FONTE: A autora (2021), adaptado de McKinsey (2017)

Mesmo sendo uma das indústrias menos digitalizadas, a construção civil tem sido tema de diversas pesquisas no tema desde o início da década, e nos últimos anos passou a figurar em pautas governamentais. O Ministério da Indústria, Comércio e Serviços lançou recentemente duas estratégias para promover a digitalização: a Agenda Brasileira para a Indústria 4.0, lançada em 2018, foca na implementação dos conceitos da quarta revolução industrial em todas as áreas, e a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM, também de 2018, voltada à indústria AEC, com a finalidade de promover um ambiente adequado à difusão da prática de BIM em todo o país.

Portanto pode-se inferir, a partir das informações apresentadas, a importância de digitalizar os processos construtivos, especialmente na fase de controle de qualidade na construção, utilizando ferramentas que estão em alta como a realidade aumentada, por exemplo.

1.3 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho abrangeu a transcrição de um modelo BIM para uso em dispositivos móveis e para realidade aumentada e o desenvolvimento do protótipo de um aplicativo, assim como a realização de teste piloto. Para este estudo, a checagem da qualidade se deu através da medição de alguns pontos-chave, como interruptores, e sua comparação com as medidas determinadas em projeto. Assumiu-se, para a

presente pesquisa, que qualidade na construção é quando a obra segue fielmente as diretrizes determinadas em projeto.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi estruturada em 8 capítulos:

- No capítulo 1 foram apresentados a introdução ao tema, o problema de pesquisa, os objetivos, as justificativas para o desenvolvimento do trabalho, a delimitação da pesquisa e por fim a estrutura proposta;
- No capítulo 2 foi feita a fundamentação teórica, onde foram aprofundados os conceitos sobre gestão da qualidade na construção civil, além de conceitos sobre as tecnologias que embasam o trabalho (BIM e realidade aumentada móvel);
- No capítulo 3 foi apresentada a estratégia de pesquisa adotada e as etapas para condução do estudo;
- No capítulo 4 foi apresentada a revisão sistemática da literatura que pautou a escolha de ferramentas para desenvolvimento do artefato proposto pela pesquisa, além da avaliação de ferramentas disponíveis no mercado para desenvolvimento em RA;
- No capítulo 5 foi detalhado o processo de projeto, programação e desenvolvimento do artefato e do protótipo de avaliação;
- No capítulo 6 todas as etapas de avaliação do protótipo foram documentadas;
- No capítulo 7 foi documentada a etapa de validação do protótipo e apresentou-se uma análise dos resultados obtidos;
- No capítulo 8 foram expostas as considerações finais acerca do estudo e sugestão para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica tem o objetivo de relatar aspectos históricos e conceitos acerca do tema pesquisado. Portanto, a intenção deste capítulo é trazer contextualização a respeito dos tópicos tratados no decorrer da pesquisa.

2.1 GESTÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Obras notáveis dos primórdios da humanidade, como os templos de Stonehenge e as pirâmides do Egito, não possuem relatos históricos acerca de seu planejamento. Não é informado se houve projeto de engenharia, nem se o empreendimento era adequadamente planejado, programado e controlado, o que é plausível, visto que foram construídos milhares de anos atrás. Porém, nos dias de hoje, muitas obras habitacionais ainda são executadas dessa forma: com planejamento informal, artesanalmente, sem garantia do cumprimento de prazos, orçamentos e qualidade (LIMMER, 1997). Para garantir a eficácia do projeto construtivo, é preciso que o gerenciamento da obra seja feito como um todo, de forma a garantir que o produto desejado seja entregue de forma satisfatória, dentro dos parâmetros de prazo, custo, qualidade e risco previamente estabelecidos. Grande é a ênfase dada ao acompanhamento de cronograma e orçamentos no gerenciamento de projetos, porém pouca atenção tem sido dada à qualidade do produto finalizado (LIMMER, 1997).

2.1.1 Controle da Qualidade

A qualidade teve início com os primeiros seres humanos, que precisavam caçar para garantir a subsistência de suas famílias. Os caçadores mais hábeis e detentores das melhores ferramentas garantiam a melhor caça e, intrinsecamente, sabiam o que era qualidade e como obtê-la (PINHEIRO; CRIVELARO, 2014). Avançando na linha do tempo, durante os séculos XVIII e XIX, a qualidade era controlada pelos artesãos, responsáveis pela fabricação e venda de seus produtos. Caso notassem alguma imperfeição, a corrigiam antes de repassar o produto para a venda (PINHEIRO; CRIVELARO, 2014). Nesse período, a qualidade normalmente era analisada através de uma inspeção visual (GARVIN, 1992). Ainda de acordo com Pinheiro e Crivelaro (2014), a qualidade começou a ganhar importância a partir da Revolução Industrial,

pois a necessidade de produção em larga escala introduziu o chamado controle de qualidade, com o objetivo principal de evitar o custo de retrabalho. Além disso, com a introdução do modelo de produção em massa, a interação com o consumidor foi dificultada. A necessidade de peças intercambiáveis e o aumento da produção tornaram necessária a formalização do controle de qualidade, o que resultou no surgimento de departamentos de controle de qualidade (GARVIN, 1992).

Durante a Primeira Guerra Mundial (1914 - 1918), o fato de produtos militares e bélicos apresentarem inúmeros defeitos levou estudiosos a buscarem soluções científicas. O conceito de qualidade foi abordado com caráter científico pela primeira vez em 1931, a partir da publicação intitulada *Economic Control of Manufactured Products*, do matemático americano W. A. Shewart, que usou princípios da probabilidade e estatística para inspecionar a produção (PINHEIRO; CRIVELARO, 2014). A introdução de conceitos de estatística para o controle da qualidade levou ao surgimento do conceito de Controle de Qualidade Total (*Total Quality Control* - TQC). De acordo com Wood Jr e Urdan (1994), o TQC é um sistema permanente e longo, que busca alcançar a satisfação do cliente através da melhoria contínua da qualidade dos produtos e serviços providos por determinada empresa. De acordo com Picchi (1993), o TQC divide-se em duas diferentes linhas: a perspectiva ocidental e a japonesa. Os principais conceitos da linha ocidental são o enfoque nas análises de custos, ênfase em aspectos de gestão e o conceito Defeito Zero, que busca eliminar ao máximo a necessidade de retrabalho. Já a linha oriental é mais focada na redução da variabilidade do processo, através do uso de métodos estatísticos e avaliações sistêmicas (BARTZ, 2007). O enfoque japonês, baseado no atendimento da expectativa dos clientes, foi um dos responsáveis pelo grande avanço industrial do Japão, o que despertou o interesse de empresas ocidentais (PICCHI, 1993). Segundo o mesmo autor, a tentativa de aplicar características dos sistemas de produção japoneses em empresas ocidentais culminou no surgimento do conceito de Gestão da Qualidade.

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, representantes de 25 países se reuniram em Londres com objetivo de criar uma organização internacional que unificasse normas industriais em nível mundial. Surge assim a *International Organization for Standardization* (ISO), com o objetivo de padronizar a gestão da qualidade em diferentes indústrias (PINHEIRO; CRIVELARO, 2014).

No Brasil, a qualidade começou a ter destaque a partir da década de 80, impulsionada pela indústria automobilística, que detinha rigorosos processos de controle de qualidade em suas montadoras e fornecedores (PINHEIRO; CRIVELARO, 2014). Porém, o conceito de controle de qualidade só foi formalizado na década de 90, com a criação do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade (PBQP), iniciativa do Governo Federal para fomentar o gerenciamento da qualidade em indústrias brasileiras, com o objetivo de equipará-las com empresas internacionais (PINHEIRO; CRIVELARO, 2014).

Os primeiros movimentos para implementação de controle de qualidade na construção civil ocorreram na mesma época, impulsionados pelo aumento da competitividade e a necessidade de maior produtividade e menor desperdício (JANUZZI, 2010). Melhado (1994) destaca que uma parceria firmada em 1993 entre o Centro de Tecnologia de Edificações e o Sinduscon-SP foi um marco para a gestão da qualidade na construção civil, com a criação de Programas Setoriais da Qualidade (PSQs), que são acordos com a finalidade de regulamentar os requisitos de qualificação.

Criado em 1998 como um desdobramento do PBQP, o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade na Construção Habitacional (PBQP-H) tornou-se outro grande marco na gestão da qualidade na indústria AEC, devido a sua abrangência a nível nacional e seu grau de importância, unificando os PSQs regionais (JANUZZI, 2010). De acordo com a portaria publicada pelo agora extinto Ministério do Estado do Planejamento e Orçamento, o PBQP-H “tem o objetivo básico de apoiar o esforço brasileiro de modernidade e promover a qualidade e produtividade do setor da construção habitacional. com vistas a aumentar a competitividade de bens e serviços por ele produzidos” (BRASIL, 1998). A estrutura do programa é baseada na série de normas da ISO 9000, e passa por atualizações periódicas, acompanhando as revisões da norma ISO, garantindo assim a compatibilidade com essa norma (JANUZZI, 2010).

Segundo a ISO 9000, o termo “qualidade” é o grau no qual características inerentes satisfaz a requisitos, ou seja, é o conjunto de características que satisfazem as necessidades e expectativas daqueles que vão utilizar o bem em questão. Arditi e Gunaydin (1997) definem que qualidade é alcançar os requisitos legais, estéticos e funcionais de um projeto. Em outras palavras, a qualidade só é obtida se os requerimentos citados estão adequados e completos conforme o projeto. Na indústria da construção, a qualidade é quando são atendidos os requisitos do projetista, do

construtor e de agências regulatórias (ARDITI; GUNAYDIN, 1997). Já o controle da qualidade é o processo de cobrir atividades necessárias para garantir que, durante o trabalho, todos os requisitos citados anteriormente foram atendidos. Esse processo, pelo qual arquitetos e engenheiros são responsáveis, envolve estabelecer procedimentos, padrões, treinamentos e sistemas necessários para atender os requisitos de qualidade (ARDITI; GUNAYDIN, 1997).

Pitty e Agopyan (1993) propuseram um sistema para controle de qualidade, que abrange todas as etapas que afetam a qualidade do produto. Algumas diretrizes propostas pelos autores para realizar o controle formal da qualidade são: controle sistematizado, através de listas de verificação; definição das pessoas responsáveis pela avaliação; formalização e padronização de procedimentos avaliatórios; estabelecimento de uma rotina de controle. Porém Santos (2003) pontua que o processo de implementação de um sistema de gestão da qualidade só tem um resultado positivo no desempenho da empresa quando esta tiver ciência da importância da implementação de tais processos, e não o adotar como um título apenas, sem promover melhorias efetivas nos produtos e serviços oferecidos.

Para a presente pesquisa, optou-se por limitar “qualidade” para quando os requisitos do projetista fossem atendidos na fase da construção. As normas do PBQP-H, que balizam os processos de controle de qualidade em grande parte das construtoras atualmente, não trazem um valor de tolerância máxima de erro da obra em relação ao projeto. Portanto, optou-se por buscar embasamento no Código Civil, que no Artigo 500 determina que serão tolerados erros de até 5% na metragem de apartamentos e casas vendidos na planta (BRASIL, 2002).

2.2 DIGITALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A digitalização na construção civil está diretamente ligada à Quarta Revolução Industrial. Em diferentes períodos da nossa história, as revoluções ocorrem quando novas tecnologias e novas formas de perceber o mundo alteram profundamente as estruturas sociais e os sistemas econômicos (SCHWAB, 2016).

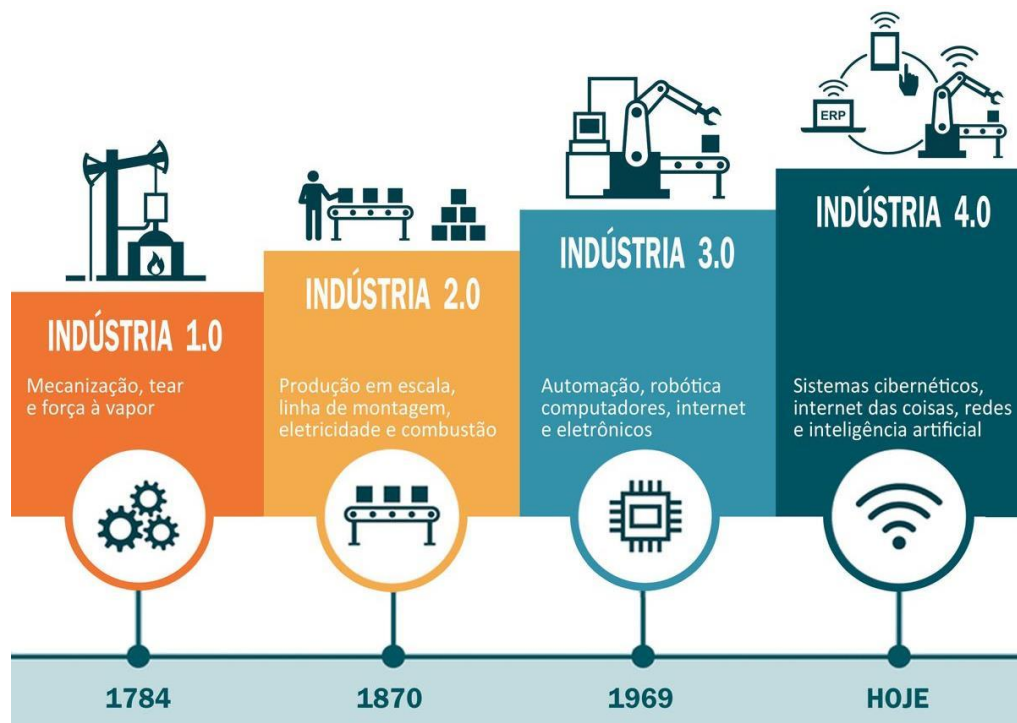
Schwab (2016) descreve sucintamente as revoluções (FIGURA 3) já vivenciadas pela sociedade:

- Revolução agrícola: Ocorreu há cerca de 10.000 anos, e combinou a força dos animais e dos seres humanos em benefício da produção e do transporte. A

produção de alimentos melhorou, o que estimulou o crescimento da população e acabou levando à urbanização e ao surgimento das cidades;

- Primeira revolução industrial: Aconteceu entre 1760 e 1840. Provocada pela construção das ferrovias e pela invenção da máquina a vapor, ela deu início à produção mecânica;
- Segunda revolução industrial: Iniciada no final do século XIX. Pelo advento da eletricidade e da linha de montagem, possibilitou a produção em massa;
- Terceira revolução industrial: Teve início na década de 1960. Costuma ser chamada de revolução digital ou do computador, pois ganhou força a partir do desenvolvimento dos semicondutores, da computação pessoal e da internet.

FIGURA 3 - AS QUATRO REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS



FONTE: Netscan Digital (2019)

O conceito da quarta revolução industrial foi desenvolvido pelo próprio autor e, segundo ele, está acontecendo atualmente. Utilizando como base as tecnologias desenvolvidas na revolução anterior, a indústria 4.0 tende a ser totalmente automatizada a partir de sistemas que combinam máquinas com processos digitais. Existem várias tecnologias que irão impulsionar esta nova revolução industrial, tendo

como eixo a conectividade digital. O autor dividiu as grandes tendências em três categorias:

- Categoria física: Possui sua natureza tangível. Alguns exemplos são veículos autônomos, impressão 3D e robótica avançada;
- Categoria digital: São as ligações entre as pessoas e o mundo digital. É a Internet das Coisas (IoT), que permite a interação entre as pessoas e as “coisas” (produtos, serviços, lugares) através de dispositivos que ligam o físico ao virtual. A presente pesquisa utiliza-se de tecnologias provenientes da categoria digital;
- Categoria biológica: Aqui destaca-se a biologia sintética, que permite a criação de organismos modificados.

Mesmo possuindo traços mais conservadores, as indústrias de AEC também estão mudando em função da quarta revolução industrial, não apenas na esfera das cadeias produtivas envolvidas, mas também na forma como projetos são desenvolvidos, no gerenciamento do espaço construído, entre outros. (DALLASEGA; RAUCH; LINDER, 2018).

A indústria da construção civil é conhecida por gerar uma grande quantidade de informações, desde projetos até relatórios de diversas naturezas, preparados durante a fase da construção (NOURBAKHSI et al., 2012). Por conta disso, a eficiência do gerenciamento de informações é crucial, e o uso da tecnologia de informação apresenta inúmeros benefícios para o avanço da indústria AEC. Tecnologias como computação móvel e sensores tem grande potencial para melhorar a troca de informações no canteiro de obras (CHEN; KAMARA, 2008). Muitas companhias de AEC já vem incorporando novas tecnologias construtivas em suas atividades rotineiras, porém a grande maioria foca apenas na inserção de softwares para colaboração digital, como o BIM, digitalizando apenas a fase projetual da edificação. Existe ainda hesitação em expandir a digitalização para outras áreas, limitando o impacto digital na construção (BLANCO et al., 2017). Blanco et al. (2017) fizeram um levantamento sobre as tendências acerca da digitalização no ramo da construção, em todas as fases do ciclo de vida de uma edificação, que serão detalhadas a seguir. Para a presente pesquisa, é importante ressaltar o controle de qualidade, parte da fase de construção. Os autores relatam que a tendência para essa área é o surgimento de aplicações que auxiliem os gestores a gerenciar construções.

Os autores apontam também que as empresas de AEC irão cada vez mais criar seus próprios sistemas para controle de qualidade, combinando ferramentas digitais, como o BIM e a RA.

a) Pré-obra

- Design digital: auxílio no controle e integração de documentos à medida que o projeto avança, dos esboços iniciais até os projetos executivos;
- Orçamento: automatização e melhora na precisão de orçamentos;
- Gerenciamento de relacionamento na construção: plataformas que auxiliam na comunicação entre os envolvidos;
- Inteligência de mercado: análise de informação de projetos passados e a performance de competidores;
- *Marketplace*: plataforma para *stakeholders* qualificarem, avaliarem e selecionarem possíveis parceiros.

b) Construção

- Gerenciamento de projetos: visualização de desenhos e modelos 3D no canteiro, em dispositivos móveis;
- Cronograma: entregar em tempo real cronogramas, planos de trabalho e atividades para todos os trabalhadores envolvidos;
- Gerenciamento de materiais: controle automatizado de almoxarifado;
- Produtividade no canteiro: controle da produtividade dos trabalhadores através de sensores, em tempo real; gerenciamento das atividades de acordo com o desempenho dos trabalhadores;
- Gerenciamento de qualidade: inspeção da obra através de aplicativos, fotos em tempo real; rastreamento e controle de possíveis erros simultaneamente;
- Gerenciamento de documentos: distribuir documentos em tempo real para diversos setores;
- Segurança: monitoramento da segurança dos trabalhadores em toda a obra, alertando caso estejam em perigo, e orientando os procedimentos corretos, evitando acidentes.

c) Fase de operações

- Monitoramento: monitorar e controlar em tempo real diversas condições dentro da edificação, como qualidade do ar, umidade e temperatura;
- Reformas e reparos: facilitar ordens de trabalho na necessidade de reparos na edificação, além de fornecer de forma rápida os projetos pertinentes à execução da atividade de reparo.

Nessa dissertação o foco foi na fase de construção, no tópico “gerenciamento de qualidade”.

2.3 BUILDING INFORMATION MODELLING - BIM

Segundo Eastman et al. (2014), o *Building Information Modeling*, conhecido como BIM, é uma das mais promissoras tecnologias emergentes na indústria de arquitetura, engenharia e construção (AEC). Por meio desta, é possível construir uma edificação de forma digital, gerando um modelo computacional que fornece suporte de informações para diversas etapas de um projeto, como construção, fabricação de componentes pré-fabricados, fornecimento de insumos, manutenção, análise do ciclo de vida, entre outros. É considerado por ele uma importante transição na prática de projeto.

Já Succar (2009) define o BIM como um conjunto de regras, processos e tecnologias que, quando integrados, geram uma metodologia de gestão de projetos e suas informações, através de um modelo digital ao longo de todo o ciclo de vida da edificação.

De acordo com Eastman et al. (2014), o conceito de objetos paramétricos é fundamental para o entendimento do BIM e sua diferenciação dos objetos 2D tradicionais (como arquivos CAD, por exemplo). Objetos BIM paramétricos são definidos da seguinte forma:

- São definições geométricas de dados e regras associadas;
- A geometria é integrada de maneira não redundante e não permite inconsistências. Além disso, as dimensões não podem ser “falsas”;
- As regras paramétricas para os objetos alteram automaticamente as geometrias associadas;
- Os objetos podem ser definidos em diferentes níveis de agregação, ou seja, pode-se definir a parede e seus respectivos componentes;

- As regras dos objetos podem identificar quando determinada modificação viola a viabilidade do objeto no que diz respeito a tamanho, construtibilidade etc.;
- Os objetos têm habilidade de vincular-se a ou receber, divulgar ou exportar conjuntos de atributos, por exemplo, materiais estruturais, dados acústicos, dados de energia etc. para outras aplicações e modelos.

Algumas extensões para incorporação de novos parâmetros de gerenciamento foram desenvolvidas. Os elementos “D” referem-se à informação associada com o modelo. Atualmente, os modelos vão do 3D ao 7D. A descrição de cada dimensão encontra-se a seguir (Charef et al, 2018).

O modelo BIM 3D é o que expressa visualmente, entre outras formas, os conceitos de design nas três dimensões espaciais primárias (largura, altura e profundidade). Nos últimos 20 anos, o modelo 3D ficou onipresente no campo da arquitetura, construção e engenharia, sendo usado para visualização de projeto, compatibilização, entre outros. Porém, a visualização proporcionada pelo modelo 3D não era suficiente para agilizar a entrega do projeto; o fator “tempo” se tornou, então, a quarta dimensão do BIM. O modelo 4D surgiu em 2008 e possibilitou a adição do cronograma da obra ao modelo 3D. Dois anos depois, surge o BIM 5D, que adiciona a variável custo ao modelo anterior. Ainda segundo Charef et al. (2018), após a quinta dimensão ocorre discrepância nas definições das dimensões seguintes. Porém, as definições mais comumente adotadas são: BIM 6D, que surge em 2012, referindo-se à análise de eficiência energética e impactos ambientais dos modelos e, por fim, o BIM 7D, que iniciou em 2014 e é até o momento a última dimensão descrita. A sétima dimensão adiciona o fator *Facility Management*, do inglês gestão de instalações, ao modelo. Segundo Hamed (2015), o BIM 7D é utilizado pelos gestores na operação e manutenção das instalações durante seu ciclo de vida. A utilização desta dimensão resulta em mais fácil e ágil substituição de componentes. A presente pesquisa, porém, irá se ater apenas ao BIM 3D.

2.3.1 BIM no controle de qualidade

O controle da qualidade é feito, principalmente, pela verificação da instalação dos componentes in loco, para certificar que as especificações dimensionais e de desempenho foram satisfeitas. Quando algum erro é encontrado, o construtor acaba

gastando mais tempo e recursos para corrigi-lo. O modelo BIM da edificação é uma boa ferramenta para verificar se as circunstâncias reais da construção refletem aquelas mostradas no projeto. Porém, mesmo com um modelo preciso, a construção está sempre sujeita a falhas humanas, e capturar essas falhas à medida que eles ocorrem ou o mais cedo possível é essencial para o controle do cronograma e orçamento da obra (Eastman et al., 2014). Segundo os mesmos autores, o crescimento do uso do BIM em campo está atrelado ao avanço das capacidades de dispositivos móveis.

2.4 REALIDADE AUMENTADA

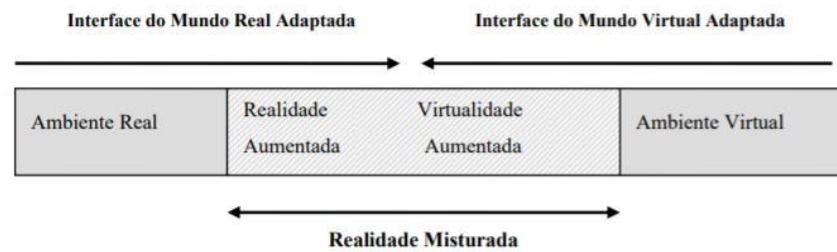
Representações da realidade ou do imaginário estão presentes na vida do ser humano desde os primórdios, permitindo-o expressar-se ao passar dos tempos. Os primeiros indícios de expressão vêm desde desenhos primitivos, evoluindo para figuras e pinturas, cinema, jogos, teatro dentre outras expressões artísticas. O surgimento da computação potencializou tais formas de expressão, viabilizando a multimídia, que envolve textos, imagens, sons, vídeos e animações, e mais recentemente a hipermídia, que possibilita a navegação não linear e interativa por conteúdos multimídia. Juntamente com a expansão da indústria de jogos digitais, a integração entre essas tecnologias rompeu a barreira do monitor, permitindo a geração de ambientes tridimensionais em tempo real, através da realidade aumentada (RA) e virtual (RV) (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006).

2.4.1 Histórico

A primeira menção à RA data da década de 50, quando o cinematógrafo Morton Heilig idealizou uma forma de transformar o cinema em uma atividade mais interativa, permitindo que o usuário fizesse parte das atividades mostradas na tela (CARMIGNIANI; FURHT, 2011). Em 1962, Heilig construiu um protótipo de um dispositivo que materializava sua ideia, a qual ele nomeou “Sensorama”, que acabou se tornando o precursor da computação digital (CARMIGNIANI; FURHT, 2011). Em 1966, Ivan Sutherland criou um dispositivo acoplado à cabeça (conhecido por *head-mounted display*), que acabou se tornando o primeiro sistema para visualização de RA, através do uso de um visor ótico transparente, usado de maneira similar a um

capacete com óculos (CARMIGNIANI; FURHT, 2011). Porém, a primeira vez que a RA foi fundamentada como uma tecnologia só veio a ocorrer em 1994, qualquer Milgram e Kishino definiram o “contínuo de realidades” (FIGURA 4).

FIGURA 4 – CONTÍNUO DE REALIDADES



FONTE: Tori, Kirner e Siscoutto (2006)

O primeiro jogo suportado por dispositivos móveis em RA, AQuake, foi desenvolvido em 2000 por Bruce Thomas. Nos anos seguintes, a tecnologia foi ficando cada vez mais popular, principalmente com o desenvolvimento de aplicações com fins profissionais, como no campo da medicina, por exemplo (FURHT, 2011). Em 2016, ocorreu a popularização em massa da RA, por conta do lançamento do jogo para smartphones Pokémon GO (FIGURA 5), considerado o aplicativo em RA mais popular até o momento (LANDI, 2016). No jogo, os jogadores interagem com personagens virtuais escondidas em localidades reais, através de seus smartphones (RAUSCHNABEL; ROSSMANN; TOM DIECK, 2017).

FIGURA 5 – POKÉMON GO



FONTE: Snigharnal (2019)

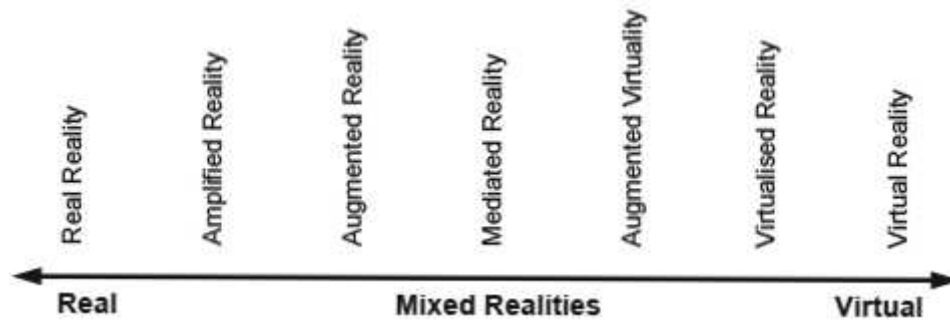
A seguir, o conceito de RA será explicado em maiores detalhes.

2.4.2 Definição

Para melhor definir a Realidade Aumentada (RA), é necessário mostrar as relações entre esta e a esfera de tecnologias onde ela está contida, conhecida como Realidade Mista (RM), tecnologia que mescla o ambiente real e o virtual (CUPERSCHMIDT, 2014). A RM possui uma grande variedade de categorias (Realidade Real, Realidade mista com Realidade Amplificada, Realidade Aumentada, Realidade Mediada e Diminuída, Virtualidade Aumentada, Realidade Virtualizada, Realidade Virtual) que, associadas a tecnologias de suporte, abrem novos caminhos de comunicação e colaboração entre arquitetos, engenheiros e designers (SCHNABEL, 2009). De acordo com Milgram e Colquhoun (1999), as Realidades Aumentada e Virtual são as que mais se destacam no universo das Realidades Mistas. A Realidade Virtual (RV) é definida por Tori, Kirner e Siscoutto (2006) como a tecnologia que “permite ao usuário retratar e interagir com situações imaginárias, como os cenários de ficção, envolvendo objetos virtuais estáticos e em movimento”. Em outras palavras, a RV permite que o usuário possa entrar em ambientes virtuais e interagir com seus recursos de forma natural, auxiliado por alguns aparatos tecnológicos. Já a Realidade Aumentada (RA) “uma visão direta ou indireta em tempo real de um ambiente físico do mundo real que foi aprimorado pela adição de informações virtuais geradas por computador a ele” (CARMIGNIANI; FURHT, 2011). A RA adiciona elementos virtuais sobre ambientes reais, permitindo a interação em um ambiente real enquanto o usuário recebe informações adicionais geradas por computador, onde o observador fica apenas parcialmente imerso no ambiente digital.

Porém, de acordo com Cuperschmid (2014), as diferenças entre as definições dos conceitos de RM não são claramente identificadas no contínuo RM. Para clarificar as atribuições de cada uma das tecnologias incluídas no universo das tecnologias em RM, Schnabel (2009) estabeleceu uma escala com várias realidades de acordo com seu grau imersão, conforme mostra a FIGURA 6.

Figura 6 – ESCALA DE REALIDADES



FONTE: Schnabel (2009)

Após caracterizada a posição da RA dentro do espectro RM, é possível definir com mais clareza a tecnologia na qual a pesquisa foca.

De acordo com Tori, Kirner e Siscouto (2006), a RA pode ser definida de várias maneiras, tais como:

- é uma particularização de realidade misturada, quando o ambiente principal é o real;
- é o enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, através do uso de algum dispositivo tecnológico;
- é uma melhoria do mundo real através de textos, imagens e objetos virtuais;
- é a mistura de mundos reais e virtuais em algum ponto da realidade/virtualidade contínua;
- é um sistema que suplementa o mundo real com objetos virtuais gerados por computador.

Conforme exemplificado na FIGURA 6, a RA possibilita colocar um objeto virtual (coruja) sobre um objeto real (mesa), permitindo a visualização através de um dispositivo, no caso um *smartphone*.

FIGURA 6 – DEMONSTRAÇÃO DE RA



FONTE: Museu de Ciências Univates (2021)

Existem três importantes aspectos envolvidos pela RA: renderização de alta qualidade do mundo combinado; calibração precisa, envolvendo o alinhamento dos componentes virtuais em posição e orientação dentro do mundo real e interação em tempo real entre objetos reais e virtuais (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006).

2.4.3 Mecanismos de funcionamento em smartphones

Todo sistema de RA para smartphones é formado por três componentes: hardware, software e aplicação. Chen (2019) explica tais componentes da seguinte forma:

- **Hardware:** refere-se ao equipamento através do qual as imagens virtuais são projetadas, no caso, *smartphones*. Para a RA funcionar corretamente nesses dispositivos, é necessário que possua sensores e processadores que suportem as demandas exigidas. Alguns dos principais componentes são:

a) **Processador:** considerado o cérebro do dispositivo. Determina a velocidade do aparelho, o que ditará se ele será capaz ou não de rodar uma aplicação em

RA;

b) Unidade de Processamento Gráfico: é responsável pela renderização visual do objeto virtual na tela do *smartphone*. A RA requer alto processamento gráfico para que o conteúdo digital possa ser criado e sobreposto perfeitamente;

c) Sensores: esses componentes dão ao *smartphone* a habilidade de compreender o entorno. Os sensores mais comuns requeridos pelas aplicações em RA são:

- Sensor de profundidade: para medir profundidade e distância;
- Giroscópio: para detectar o ângulo e a posição do dispositivo;
- Sensor de proximidade: para medir quão perto/distante algo está;
- Acelerômetro: para detectar mudanças de velocidade, movimento e rotação;
- Sensor de Luz: para medir a intensidade da luz e brilho no ambiente.

As especificações de hardware são cruciais para o funcionamento correto das aplicações de RA. Portanto, apenas as gerações mais recentes de *smartphones* tem capacidade de suportar a tecnologia. De acordo com os sites dos sistemas operacionais mais populares (IOS e Android), apenas os celulares fabricados a partir de 2017 rodam aplicações em RA.

- **Software:** o segundo componente fundamental é o *software*. ARKit (Apple) e ARCore (Android) são os exemplos de softwares de RA mais populares. Esses programas são fundamentados em três diferentes tecnologias:

a) Entendimento do ambiente: permite que o *smartphone* detecte pontos de interesse e superfícies planas para mapear o entorno, permitindo assim que o sistema posicione os objetos virtuais de maneira precisa nessas superfícies;

b) Sensor de movimento: possibilita que o dispositivo determine sua posição em relação ao ambiente;

c) Estimativa de luz: dá ao dispositivo a capacidade de entender as condições de iluminação ao redor.

- **Aplicação:** O último componente é a aplicação propriamente dita. Importante ressaltar que o fato de baixar um aplicativo em RA permite que a tecnologia

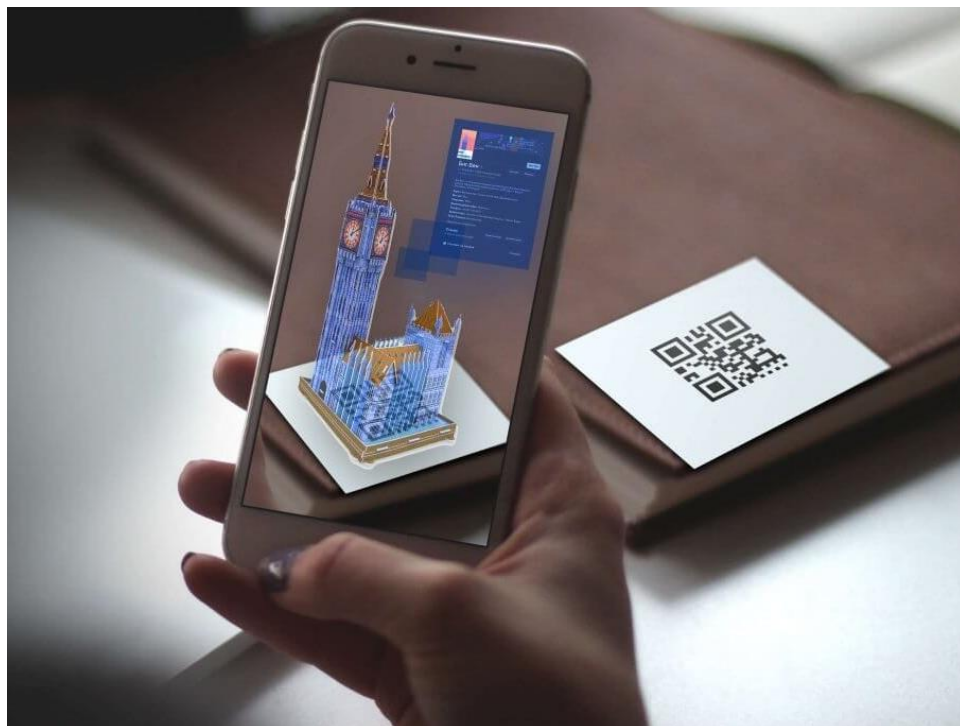
rode no dispositivo, mas não detém os recursos necessários para fazê-la funcionar. A aplicação só vai funcionar de forma correta se os requisitos anteriores de *software* e principalmente *hardware* estiverem disponíveis no *smartphone*.

2.4.3 Princípios de funcionamento

Segundo Chen (2019), são duas as principais formas de aplicações em RA:

- Rastreamento baseado em marcadores: essa forma requer marcadores óticos, como um QR Code ou uma imagem, para desencadear os recursos em RA. Ao apontar a câmera do *smartphone* para uma dessas imagens, o aplicativo a reconhece e sobrepõem a imagem com um objeto virtual na tela (FIGURA 7);

FIGURA 6 – RASTREAMENTO POR MARCADORES



FONTE: Evolve AR (2020)

- Rastreamento sem marcadores: esse modo é baseado no reconhecimento de objetos. São aplicações que funcionam reconhecendo objetos do mundo real,

como por exemplo faces. Entram nessa categoria também as aplicações que funcionam posicionando objetos virtuais através do toque, por GPS (FIGURA 8) e sensores *bluetooth*.

FIGURA 7 – RASTREAMENTO VIA GPS



FONTE: G2 Learn (2019)

De acordo com Wang et al. (2013), são quatro os pilares que compõe a tecnologia RA:

- Representação de mídia: em uma cena de RA, o conteúdo digital é registrado em um fundo preto, que posteriormente dará lugar à cena captada pela câmera do dispositivo móvel. As mídias podem ser textos, símbolos, imagens 2D, vídeos, animações e modelos 3D.
- Mecanismos de entrada: Os sistemas RA são manipulados de forma totalmente virtual na fase de desenvolvimento do *software*. Isso permite, portanto, que o modelo 3D seja proveniente de algum *software* de modelagem, como o Revit ou o Archicad, exemplos populares de *softwares* BIM. Isso é possível pois os modelos são tratados sob a premissa dos seis graus de liberdade, que permite que a movimentação do modelo quando sobreposto em uma cena real seja o mais fiel possível à realidade.

- Mecanismos de saída: essa categoria é representada pelos dispositivos ou componentes que apresentam o conteúdo em RA para o usuário. Esses dispositivos podem ser visuais, acústicos e táteis, porém a maior parte das tecnologias desenvolvidas em RA é feita para dispositivos visuais.
- Rastreadores: o posicionamento preciso dos objetos virtuais no mundo real é feito através de rastreadores, que podem ser marcadores visuais, QR codes, sensores, sinais de rádio e WI FI, GPS, dentre outros.

2.4.1 RA na construção civil

A Realidade Aumentada pode ser implementada durante todas as fases da do processo construtivo. Mais especificamente na fase de construção, tratada na presente dissertação, estudos mostram que o uso de RA reduz o tempo de execução de tarefas em 50%, além de diminuir possíveis erros (GARBETT; HARTLEY; HEESOM, 2021). De acordo com Schnabel (2009), um ambiente de RA aplicado na indústria AEC permite novas maneiras de trabalho colaborativo, em locais compartilhados ou remotos. Porém, o mesmo autor alerta para o fato de que a transcrição das informações do projeto para informações virtuais é uma prática potencialmente problemática, pois é preciso muita atenção por parte dos responsáveis em relação a escalas e dimensões, para garantir uma relação correta entre as informações virtuais e o ambiente real.

Para investigar quais as possíveis aplicações na construção civil da RA e da Realidade Virtual (RV), com quem a RA possui diversas semelhanças, Salgado e Pasdiora (2020) desenvolveram uma revisão sistemática da literatura acerca do assunto, que contou com 62 artigos publicados entre 2008 e 2020. A RSL identificou que as citadas tecnologias foram utilizadas principalmente para monitoramento da segurança, controle de qualidade e aumento da produtividade. Além disso, o estudo mostrou também que o BIM aparece como principal ferramenta de apoio para implementação de RA e RV na construção civil, seguido pelo motor de jogo Unity.

2.5 INTEGRAÇÃO BIM E RA

O modelo BIM pode ser compartilhado entre diferentes profissionais, sendo usado principalmente para ilustrar possibilidades de projeto. Porém, em se tratando

de atividades no canteiro de obras, como o controle de qualidade, sua contribuição é ainda muito limitada (WANG et al., 2014). A maioria dos modelos BIM são modelados em computadores que não possuem nenhuma ferramenta de posicionamento, o que resulta em pouca ou nenhuma interação entre o modelo e a situação no canteiro de obras. Portanto, a introdução de outra tecnologia, como a RA, pode auxiliar sistemas BIM já existentes para contornar o problema citado anteriormente, trazendo os modelos 3D para o canteiro de obras (SAAR et al., 2019). Em outras palavras, a RA é uma opção para facilitar a visualização do modelo BIM. Além disso, a RA é de grande ajuda durante atividades de manutenção e inspeção, pois permite visualizar virtualmente elementos que estão encobertos atrás de acabamentos como forros e paredes (SAAR et al., 2019).

Para realizar a integração entre BIM e RA, Saar et al. (2019) realizaram um levantamento acerca das formas que os pesquisadores têm feito essa integração.

As mais populares são:

- RA-BIM de mesa (FIGURA 9): É a forma mais simples de integração entre as duas tecnologias. Consiste em sobrepor o modelo 3D no ambiente real a partir de marcadores impressos, normalmente em plantas ou pranchas arquitetônicas. Além disso, essa categoria de integração utiliza também sensores de movimento, com o modelo BIM mudando de acordo com o movimento do usuário, permitindo uma melhor visualização do modelo. Porém, o modelo é representado em menor escala, mostrando a totalidade da edificação, sendo mais voltado para marketing e visualização de projetos por parte dos clientes;

FIGURA 8 – RA-BIM DE MESA



FONTE: Archdaily (2019)

- RA-BIM portátil (FIGURA 10): É similar ao modelo de mesa, porém ao invés de mostrar o modelo BIM completo em escala reduzida, o sistema mostra apenas a parte correspondente ao contexto real, em escala real, como uma parede ou um encanamento, por exemplo. Por ser muito mais favorável ao uso no canteiro de obras, a presente pesquisa irá utilizar essa categoria para desenvolvimento do artefato;

FIGURA 9 – RA-BIM PORTÁTIL



FONTE: Archdaily (2019)

Ainda há bastante espaço para aprimoramentos, pois cada plataforma tem seus próprios benefícios e limitações. O RA-BIM de mesa é o mais popular dentre os dois, e a grande maioria das aplicações existentes hoje são nesse modelo (CHAI et al., 2019). Portanto, existe ainda muito campo para explorar na modalidade RA-BIM portátil, o que justifica a escolha para a condução da presente pesquisa.

3 MÉTODO DE PESQUISA

O capítulo 3 tem como objetivo explicar qual o método que foi utilizado para conduzir a pesquisa, abrangendo a caracterização e suas etapas.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Em relação à sua natureza, a presente pesquisa foi classificada como aplicada, visto que sua principal motivação é produzir resultados que auxiliem os profissionais na solução de seus problemas cotidianos (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

Em relação à forma de abordagem, a pesquisa foi conduzida de maneira quantitativa pois, conforme descreve Fonseca (2002), será centrada na objetividade, com análise de dados brutos, recolhidos através de testes do artefato desenvolvido.

Já em relação ao processo de raciocínio utilizado na condução da presente pesquisa, foi escolhido o método dedutivo. De acordo com Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), “no método dedutivo, o cientista parte de leis e teorias para propor elementos que poderão servir para explicar ou prever certos fenômenos”. Através da dedução e conhecendo leis e teorias universais, o pesquisador pode construir outros conhecimentos a partir destes, com o intuito de explicar e prever o comportamento do objeto de pesquisa.

A estratégia adotada para condução da presente pesquisa foi a Ciência do Artificial ou, em inglês, *Design Science Research* (DSR). Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015) definem a DSR como “um método que fundamenta e operacionaliza a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato ou uma prescrição”. Dessa forma, a DSR busca prescrever e avaliar artefatos, a partir do entendimento do problema, que permitam transformar situações. É a alternativa que melhor aproxima a teoria e a prática em pesquisas, principalmente nas áreas de engenharia, medicina, direito, arquitetura e educação (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, 2015). Uma característica fundamental da pesquisa que utiliza a DSR, de acordo com Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), é ser orientada à solução de problemas específicos. As alternativas propostas não precisam necessariamente de soluções ótimas e perfeitas, mas sim soluções satisfatórias para

suprir os problemas levantados. A caracterização da pesquisa está ilustrada na FIGURA 11.

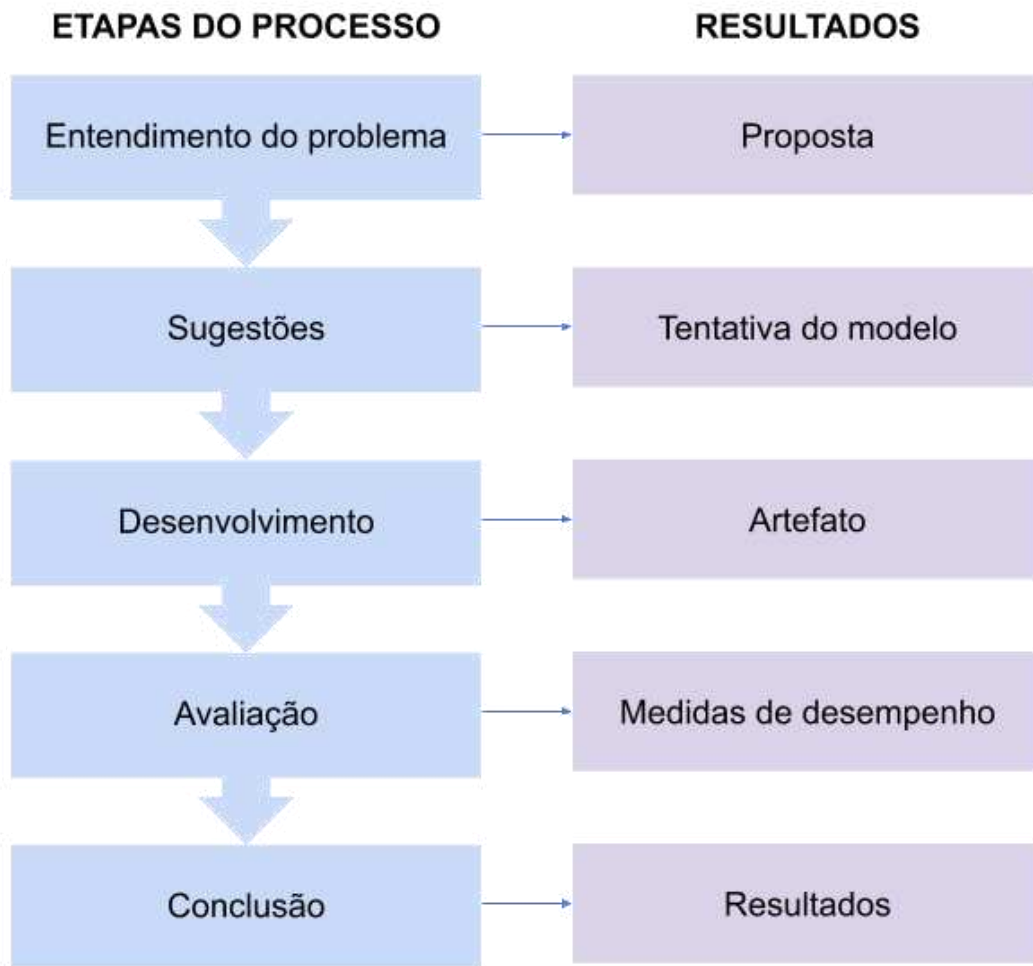
FIGURA 10 – CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA



FONTE: A autora (2020)

Vaishnavi e Kuechler (2004) apresentam um modelo de processo para a condução da *Design Science Research* (FIGURA 12), que serviu como base para o desenvolvimento do artefato proposto pela presente pesquisa.

FIGURA 11 - MÉTODO PARA A CONDUÇÃO DA DSR



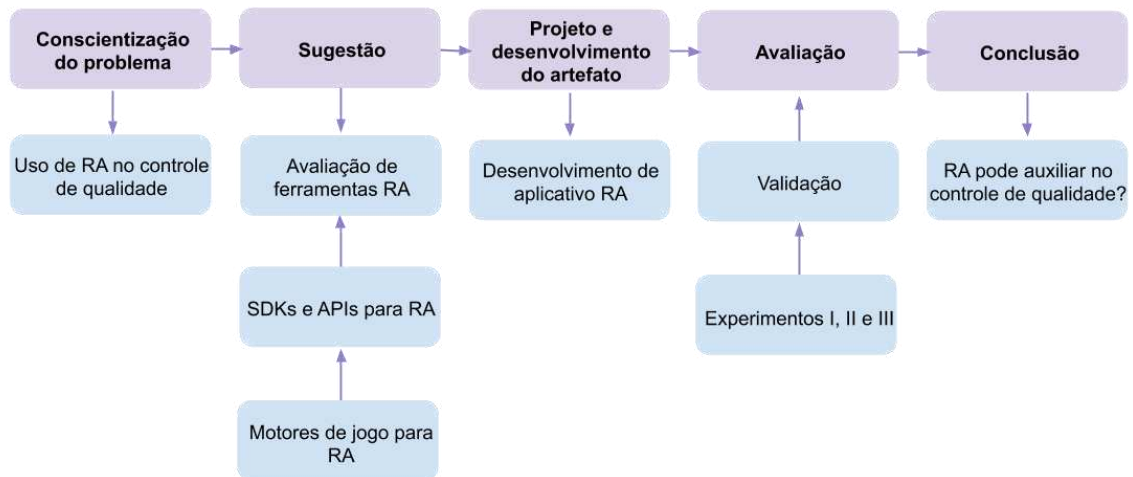
FONTE: A autora, adaptado de Vaishnavi e Kuechler (2004)

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A questão que norteia esta pesquisa é se o uso de smartphones e realidade aumentada combinados com o BIM pode aperfeiçoar o processo de checagem de qualidade na obra. Portanto, buscou-se entender como o uso do RA poderia ser explorado para diminuir as dificuldades encontradas na checagem de qualidade, eliminando possíveis falhas na construção de uma edificação. Foi necessário um reconhecimento das ferramentas de desenvolvimento disponíveis, a compatibilidade destes com *softwares* BIM utilizados na indústria AEC e, por fim, o desenvolvimento de um artefato, neste caso a documentação do processo de transcrição do modelo

BIM para uso em RA. Para avaliar o artefato, foi proposto um protótipo que teve como função a aferição da qualidade na obra. Por esse motivo foi escolhida a metodologia da *Design Science Research* na condução do processo de pesquisa. O processo sintetizado está representado na FIGURA 13.

FIGURA 12 - PASSOS DA DSR APLICADOS A ESTA PESQUISA



FONTE: A autora (2020), com base em Cuperschmid (2014) e Vaishnavi e Kuechler (2004)

3.2.1 Etapa 1: Motivação

De acordo com Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), o problema a ser investigado surge da necessidade levantada pelo pesquisador para encontrar uma resposta para uma questão importante, ou a solução para um problema prático. A questão que norteia esta pesquisa é se o uso de *smartphones* e realidade aumentada pode aperfeiçoar o processo de checagem de qualidade na obra.

A segunda etapa desta seção caracterizou-se como a conscientização do problema, onde o pesquisador deve buscar o máximo de informações possíveis, assegurando a compreensão completa do contexto de seu artefato. Essa etapa foi apresentada no capítulo 1 (introdução) e no capítulo 2 (fundamentação teórica).

3.2.2 Etapa 2: Sugestão

De acordo com Lacerda et al. (2013), a sugestão, também chamada de definição de objetivos, caracteriza-se pela busca de uma ou mais alternativas para

desenvolver o artefato proposto. O processo pelo qual esta etapa foi conduzida está detalhada no capítulo 4 (revisão sistemática da literatura e avaliação de ferramentas para desenvolvimento RA). Primeiramente, a autora buscou conduzir uma revisão sistemática da literatura (RSL) com o intuito de investigar quais ferramentas foram utilizadas para desenvolvimento de aplicativos RA para a indústria AEC em um contexto geral, não apenas para controle de qualidade. Após a listagem das ferramentas mais utilizadas, a autora pesquisou mais a fundo sobre cada uma delas, elencou as mais relevantes e conduziu testes para atestar qual mais se adequa para o desenvolvimento do artefato que atendesse às necessidades da pesquisa.

Após análise dos resultados obtidos através da RSL, foi possível observar que o *software* Unity, amplamente utilizado no desenvolvimento de jogos 2D e 3D, foi o predominante nos artigos analisados. Além disso, as ferramentas de posicionamento mais utilizadas foram marcadores e *QR codes*. Portanto, com base nessa análise e na adequação das ferramentas à proposta, foram escolhidos o *software* Unity e o posicionamento através de *QR codes* para o desenvolvimento do artefato proposto pela presente pesquisa. O detalhamento de como foi o processo de escolha encontra-se também no capítulo 4.

3.2.3 Etapa 3: Projeto e desenvolvimento do artefato

Após a formalização das ferramentas que serão utilizadas para desenvolvê-lo, inicia-se a etapa de projeto e desenvolvimento do artefato. Segundo Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), deve-se considerar as características internas e o contexto no qual o artefato irá operar, além de componentes, relações internas de funcionamento, limites e relação com o ambiente externo. O pesquisador deve avaliar quais soluções propostas na etapa anterior são satisfatórias para a resolução do problema levantado.

Esta etapa foi desenvolvida a partir dos seguintes passos: definição do *software* BIM a ser utilizado; definição do sistema operacional visado; estabelecimento das ferramentas para desenvolvimento; exportação do modelo BIM para formatos aceitos pelo motor de jogo; desenvolvimento e programação do aplicativo para *smartphones*. As escolhas serão pautadas nos resultados obtidos através da RSL e nos conhecimentos da autora acerca de modelagem e programação.

3.2.4 Etapa 4: Avaliação e validação

Segundo Lacerda et al. (2013), esta etapa é caracterizada “como o processo rigoroso de verificação do comportamento do artefato no ambiente para o qual foi projetado, em relação às soluções que se propôs a alcançar”. A avaliação foi feita em três etapas, que foram detalhadas na sequência. Os testes foram feitos pela autora *in loco* para atestar o funcionamento do aplicativo. A ideia inicial era testar o aplicativo em alguma edificação ainda em construção, mas a pandemia da Covid-19 limitou a condução de testes, portanto a autora conduziu os experimentos em sua própria residência. A segunda etapa foi validação, onde sete voluntários avaliaram o protótipo resultante do artefato proposto, e atestaram se a conversão de um modelo BIM pode ser feita para um aplicativo de realidade aumentada de forma satisfatória e se o protótipo atende o objetivo proposto. A seguir as etapas de avaliação e validação serão detalhadas.

a) Avaliação

i) Experimento I: Conversão do modelo BIM para softwares de desenvolvimento RA

O intuito do experimento I foi averiguar se os arquivos provenientes de *softwares* BIM podem ser executados nos *softwares* de desenvolvimento RA. Visto que essa etapa foi crucial para iniciar o desenvolvimento do protótipo, sua execução foi detalhada antecipadamente, no capítulo 5 (Processo de desenvolvimento do artefato). Além disso, essa etapa também foi fundamental para validar a escolha de ferramentas de desenvolvimento e modelagem abordadas no capítulo 4.

ii) Experimento II: Reconhecimento de marcadores, posicionamento e qualidade do modelo

O experimento II foi conduzido com a intenção de avaliar a questão do posicionamento do modelo virtual em relação ao ambiente real, por meio de um QR code. A importância dessa etapa se deu pelo fato de que o posicionamento do modelo deve ser preciso, a fim de atestar possíveis falhas na construção.

Essa etapa incluiu também testes de escala, transparência e estabilidade do modelo quando mostrado em realidade aumentada através de um *smartphone*.

iii) Experimento III: Interatividade do aplicativo

Esse experimento teve como finalidade avaliar a interação do usuário com o aplicativo. A proposta do protótipo foi permitir a identificação de possíveis falhas na construção, mas para maior efetividade, o ideal é permitir que o usuário sinalize essas falhas e que essa informação seja transmitida para o gestor da obra. O desenvolvimento da interatividade foi detalhado no capítulo 5.

b) Validação

Conforme descrito anteriormente, a etapa de validação foi feita para atestar a funcionalidade do aplicativo para controle de qualidade. Com base em um checklist desenvolvido por Guimarães e Martins (2014), foi desenvolvida uma ficha de avaliação, para validar as funcionalidades do protótipo proposto. Sete voluntários foram convidados a testar o protótipo e avaliá-lo de acordo com as diretrizes propostas no checklist citado.

As etapas de demonstração quanto a de validação foram detalhadas no capítulo 6 “Avaliação do protótipo” e no capítulo 7 “Validação do protótipo e análise dos resultados”.

3.2.5 Etapa 5: Conclusão

Vaishnavi e Kuechler (2004) definem a etapa da conclusão como o fim do ciclo da pesquisa acerca do artefato proposto. A autora avaliou as etapas detalhadas no capítulo 6 e 7 e atestou se um modelo BIM pode ser convertido de forma satisfatória para uso em RA, através do desenvolvimento de um protótipo para auxiliar no controle de qualidade na construção civil. Esta etapa foi tratada no capítulo 8 “Considerações finais”.

4 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA E AVALIAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA DESENVOLVIMENTO RA

Neste capítulo, foi conduzida uma revisão sistemática da literatura (RSL) com o intuito de levantar quais as principais ferramentas utilizadas no desenvolvimento de aplicativos móveis que integrem arquivos BIM com realidade aumentada (RA).

4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A RSL foi pautada no protocolo para revisões sistemáticas proposto por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015) e encontra-se sintetizada na TABELA 1.

TABELA 1 - PROTOCOLO PARA ELABORAÇÃO DA RSL

Framework conceitual	Estudar o estado da arte da integração entre BIM e RA móvel em todos os contextos da construção civil
Contexto	Construção civil em âmbito mundial
Horizonte	Estudos publicados a partir de 2010
Corrente teórica	Não se aplicou
Idiomas	Inglês
Questão da revisão	Como a integração BIM e RA móvel tem sido usada na construção civil?
Estratégia da revisão	Configurativa
Critérios de busca	Critérios de inclusão: Estudos que tratam da integração entre BIM e RA aplicados na construção civil
	Critérios de exclusão: Revisões da literatura, livros, dissertações, teses, estudos anteriores a 2010, artigos fora do tema buscado
Termos de busca	"BIM" AND "Augmented Reality"
Fontes de busca	Scopus, Science Direct, Web of Science, Google Scholar

FONTE: A autora (2020), a partir de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015)

A pesquisa foi feita em quatro diferentes bases de dados, pertinentes ao campo da construção civil. Na base *Google Scholar*, os estudos foram classificados de acordo com sua pertinência ao assunto e apenas os 1000 resultados mais relevantes foram analisados. Visando maior abrangência da pesquisa, optou-se por usar apenas os

termos “BIM” e “realidade aumentada” nesta etapa, e excluir após análise mais aprofundada os estudos que não tratavam de realidade aumentada em *tablets* e *smartphones*. Os resultados encontram-se no QUADRO 1.

QUADRO 1 – TERMOS DE BUSCA, FONTES UTILIZADAS E RESPECTIVOS RESULTADOS

Termos de busca	Fonte	Resultados
“BIM” AND “Augmented Reality”	Science Direct	24
	Scopus	208
	Web of Science	143
	Google Scholar	1000

FONTE: a autora (2020)

A partir dos resultados encontrados anteriormente, foram avaliados e eliminados os títulos dos documentos que não se encaixavam nos critérios definidos para condução da pesquisa. Foram eliminados também os documentos publicados antes da década de 2010 (2010 - 2020). A seguir, foram analisados os resumos dos artigos remanescentes, e selecionados aqueles que tratavam da integração entre BIM e realidade aumentada. Em seguida foram excluídos os documentos repetidos, e o restante dos artigos foi lido na íntegra. A seleção final excluiu os documentos que não traziam estudos acerca das citadas tecnologias em dispositivos móveis (*tablets* e/ou *smartphones*). Foram excluídas também revisões sistemáticas e bibliográficas. O processo está ilustrado de forma resumida na FIGURA 14.

FIGURA 13 - ETAPAS DA RSL



FONTE: A autora (2020)

A questão que se buscou responder foi como a integração entre BIM e RA está sendo abordada na indústria da construção civil. Para tal, a autora buscou nos artigos

revisados quais ferramentas foram utilizadas e para qual finalidade a integração foi proposta (QUADRO 2).

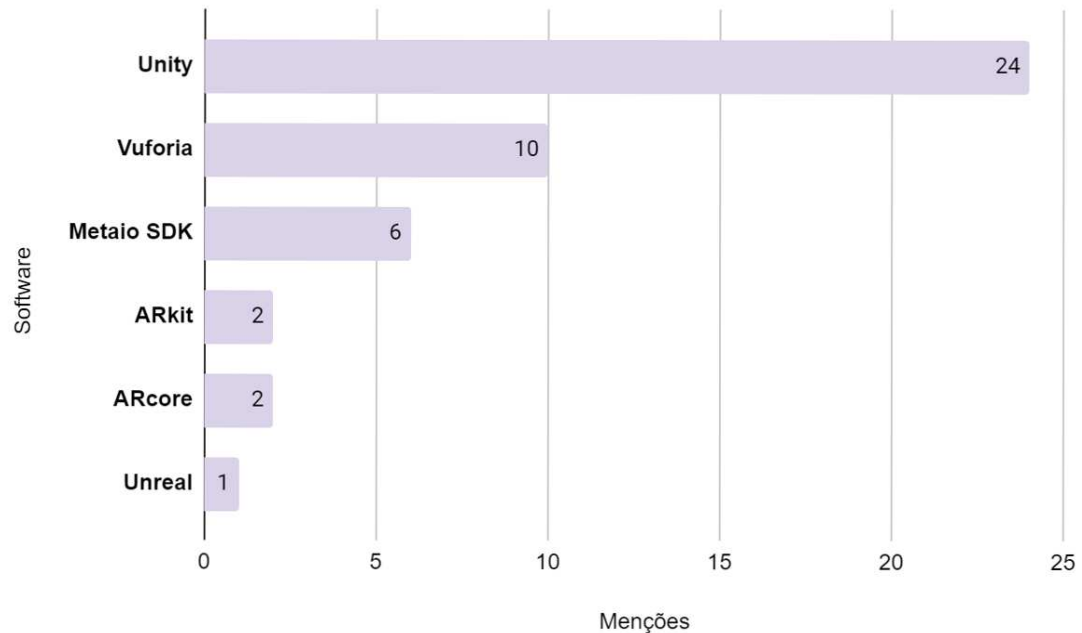
QUADRO 2 – CLASSES DE PROBLEMAS

Classe de Problema	Ferramentas		Autores
	Software	Posicionamento	
Desenvolvimento de plataforma BIM > AR	Unity; Vuforia	QR code; GPS	Sydora, Stroulia (2018); Chai et al. (2019); Saar et al. (2019); Williams et al. (2015); Williams, Gheisari, Irizarry (2014);
Ensino AEC	Unity	GPS; Sensores de movimento	Vasilevski, Birt (2020); Vassigh et al. (2016)
Facility Management	Unity; Vuforia	QR code; Marcadores	Ammari, Hammad (2019); Chen et al. (2019); Chen, Lai, Lin (2020); Chou et al. (2017); Diao, Shih (2019); Gheisari et al. (2014); Ji, Kim, Jun (2017); Koch et al. (2012); Natephra, Motamedi (2019); Patti et al. (2017); Uimonen, Hakkarainei (2018); Woodward et al. (2014);
Monitoramento do progresso da construção	Unity	GPS; Marcadores	Green (2017); Kopsida, Brilakis (2016); Lin, Petzold, Ma (2019); Meza, Turk, Dolenc (2014); Meža, Turk, Dolenc (2015); Protchenko, Dabrowski, Garbacz (2018); Ratajczak et al. (2019); Wang et al. (2014); Zaher, Greenwood, Marzouk (2018);
Qualidade na obra	ARtoolKit; Gamma AR Pro	Marcadores	Kwon, Park, Lim (2014); Mirshokraei, Gaetani, Migliaccio (2019); Park et al. (2012);
Segurança na obra	Unity	Marcadores	Park, Kim (2012); Le et al. (2015); Aureliano Junior et al. (2018)
Visualização facilitada de projetos	Unity	Marcadores; QR Code	Altatabbai, Yan (2015); Marzouk et al. (2015); Chu, Matthews, Love (2018); Gheisari et al. (2016); Rahimian et al. (2014); Zaki, Khalil (2015)

FONTE: A autora (2020)

Para escolha dos softwares a serem analisados, a autora contabilizou os que tiveram maior relevância nos estudos revisados (GRÁFICO 3).

GRÁFICO 3 – CONTABILIZAÇÃO DOS SOFTWARES PRESENTES NA RSL



FONTE: A autora (2020)

4.2 LEVANTAMENTO DE OPÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO RA

A partir dos resultados obtidos através da RSL, buscou-se levantar e avaliar algumas ferramentas que pudessem ser utilizadas no desenvolvimento do artefato proposto.

Existem três categorias de *software* utilizadas com mais frequência para desenvolver aplicativos de RA de forma satisfatória: os APIs (do inglês interface de programação de aplicações) que são conjuntos de rotinas e padrões de programação, os SDKs (do inglês kit de desenvolvimento de software), que são conjuntos de ferramenta para desenvolvimento de *softwares* e aplicativos, e os motores de jogo, que são programas de computador focados no desenvolvimento de jogos, mas que tem grandes aplicações na indústria de AEC por suas qualidades gráficas 3D. O desenvolvimento eficaz de um aplicativo combina duas ou mais das categorias citadas.

A seguir foram listados os SDKs, APIs e motores de jogo que tiveram maior relevância no desenvolvimento de aplicativos BIM e RA, com base nos artigos analisados na RSL.

4.2.1 Unity 3D

Presente em quase 50% dos 50 artigos analisados pela RSL, o motor de jogo Unity foi a adaptação para RA mais adotada na última década. Lançado em 2005 pela *Unity Technologies*, oferece aos usuários a capacidade de criar jogos em 2D e 3D para as mais diversas plataformas, dentre elas Android e IOS. Tem como principais características a programação em C# e a compatibilidade com diferentes tipos de arquivo, dentre os quais: .fbx, .dae (Collada), .3ds, .dxf e .obj (Unity Documentation, 2019). O motor de jogo não aceita diretamente arquivos .IFC (*Industry Foundation Classes*, formato que permite a interoperabilidade do BIM), nem arquivos nativos dos dois *softwares* BIM mais utilizados no mercado (Revit - .rvt e Archicad - .pln). Alguns dos estudos revisados utilizaram um terceiro *software* (3DMAX) para adaptar arquivos IFC para formatos aceitos pelo Unity.

Em 2019, o Unity lançou seu próprio API para desenvolvimento de *softwares* em realidade aumentada, que será discutido em detalhes na sequência.

4.2.2 Unreal Engine

Mesmo aparecendo em apenas um estudo avaliados pela RSL, a autora optou por analisar a Unreal Engine pois esta permite a leitura de arquivos .IFC, sem necessidade de conversão através de outros *softwares*. Desenvolvido em 1998 pela *Epic Games*, a Unreal Engine é um motor de jogo escrito em C++, possibilitando a portabilidade entre múltiplas plataformas, incluindo Android e IOS. Possui suporte para reconhecimento de imagens 2D, detecção de objetos 3D, reconhecimento facial, detecção de planos verticais, dentre outros. A programação para aplicativos em RA pode ser feita em C++ ou Blueprint, uma forma de programação visual (Unreal Engine docs, 2020).

4.2.3 Vuforia

O Vuforia é uma das plataformas mais usadas para desenvolvimento de aplicativos em RA em dispositivos móveis. Através da tecnologia de visão

computacional, ele rastreia e reconhece imagens 2D e objetos em 3D, permitindo que objetos virtuais sejam posicionados na cena, ancorando-se nesses marcadores. O objeto virtual, visualizado através da câmera do dispositivo móvel, rastreia a posição e a orientação da imagem em tempo real, permitindo assim que a perspectiva do espectador do objeto corresponda à perspectiva do alvo. Parece, portanto, que o objeto virtual faz parte do mundo real. (Vuforia Developer Library, 2020).

O SDK Vuforia suporta uma grande variedade de alvos 2D e 3D, incluindo QR codes e marcadores fiduciais. A interface de programação do Vuforia é através das linguagens C++, Java, Objective-C ++ e .NET, através de uma extensão do motor do jogo Unity. Unity e Vuforia são frequentemente utilizados em conjunto, baseado nos resultados obtidos através da RSL. O SDK oferece suporte de desenvolvimento nativo para IOS e Android.

4.2.4 Metaio SDK e Junaio

Presente em 6 estudos analisados por meio da RSL, a Metaio era uma empresa de RA muito popular no início da década de 2010, desenvolvendo soluções para diversas multinacionais. Começou a ganhar maior destaque a partir de 2005 quando, em parceria com a Volkswagen, criou um manual em RA para carros da linha Audi (WOLDE; VIRKI, 2012). A empresa lançou diversos produtos para desenvolvimento RA, dentre eles o Metaio SDK e o Junaio. Porém, em 2015 a empresa foi comprada pela Apple, que começava a investir no mercado de RA (MILLER; CONSTINE, 2015). Foram tirados do ar o site da Metaio e também as documentações que auxiliam no desenvolvimento de aplicações baseadas nos SDKs da empresa, o que inviabiliza o uso desses SDKs para a condução da presente pesquisa.

4.2.5 ARKit

Lançado em 2017 pela Apple, o ARKit é uma API que auxilia desenvolvedores a criar aplicações tanto em realidade aumentada quanto em realidade virtual. Foi desenvolvido para mapear precisamente a cena real através da técnica SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*). O ARKit abriu um grande leque de possibilidades no campo de RA, aperfeiçoando o reconhecimento do espaço real onde o objeto virtual será inserido com reconhecimento de planos, reconhecimento de profundidade, estimativa de luz, renderização em alta performance, entre outros

(Apple Developer Documentation, 2020). Porém, essa ferramenta tem a limitação de só permitir o desenvolvimento de aplicativos para o sistema nativo da Apple, o IOS, funcionando apenas em Iphones e Ipad.

4.2.6 ARCore

Lançado também em 2017 pelo Google, o ARCore é um SDK que permite a criação de aplicativos de realidade aumentada, principalmente para dispositivos com sistema operacional Android. As principais tecnologias utilizadas nesse SDK são o rastreamento do movimento, o que permite que o telefone entenda e acompanhe sua posição em relação ao mundo; a compreensão ambiental, que detecta o tamanho e a localização de superfícies horizontais planas; a estimativa de luz, que permite que o dispositivo móvel calcule as condições atuais de iluminação do ambiente. Oferece suporte para desenvolvimento Android, conforme citado anteriormente, mas não se limita só a esse sistema operacional, permitindo também criação para aplicativos para IOS, além de oferecer suporte para desenvolvimento em motores de jogo como Unity e Unreal (Google Developers, 2020).

4.2.7 ARFoundation

Lançado em 2019, o ARFoundation não apareceu em nenhum artigo analisado pela RSL por ser muito recente, mas a autora achou pertinente revisar seus conceitos para avaliar sua usabilidade no desenvolvimento do artefato proposto. É uma extensão criada pela Unity que visa criar aplicações RA oferecendo uma API que possibilita a criação de aplicativos tanto para IOS quanto para Android, trazendo as funcionalidades do ARCore e do ARKit para um único ambiente de desenvolvimento. Tem como principais tecnologias a detecção de planos (verticais e horizontais), reconhecimento através de nuvem de pontos, estimativa de luz e também a técnica *Raycast*, que facilita o posicionamento de objetos virtuais (Unity Documentation, 2019).

4.3 AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS RA DISPONÍVEIS

Foram avaliados pela autora todas as ferramentas descritas na seção anterior, exceto o Metaio SDK e o Junaio, pois seu download não está mais disponível após a compra da empresa pela Apple. No QUADRO 3, foram listadas as funcionalidades

necessárias para o desenvolvimento do artefato proposto, com o objetivo de analisar quais ferramentas melhor se adequam.

QUADRO 3 – AVALIAÇÃO DE FERRAMENTAS RA

	Unity 3D	Unreal Engine	Vuforia	ARKit	ARCore	ARFoundati on
Leitura arquivos .ifc		x				
Desenvolvimento IOS	x	x	x	x	x	x
Desenvolvimento Android	x	x	x		x	x
Reconhecimento Planos Horizontais				x	x	x
Reconhecimento Planos verticais		x			x	x
Estimativa de luz				x	x	x
Nuvem de pontos				x		x
Estimativa de profundidade				x		
Reconhecimento imagens 2D e marcadores		x	x	x	x	x
Reconhecimento de objetos 3D		x	x	x	x	x
Facilidade de uso	x		x	x		x
Qualidade do modelo 3D	x	x		x	x	x

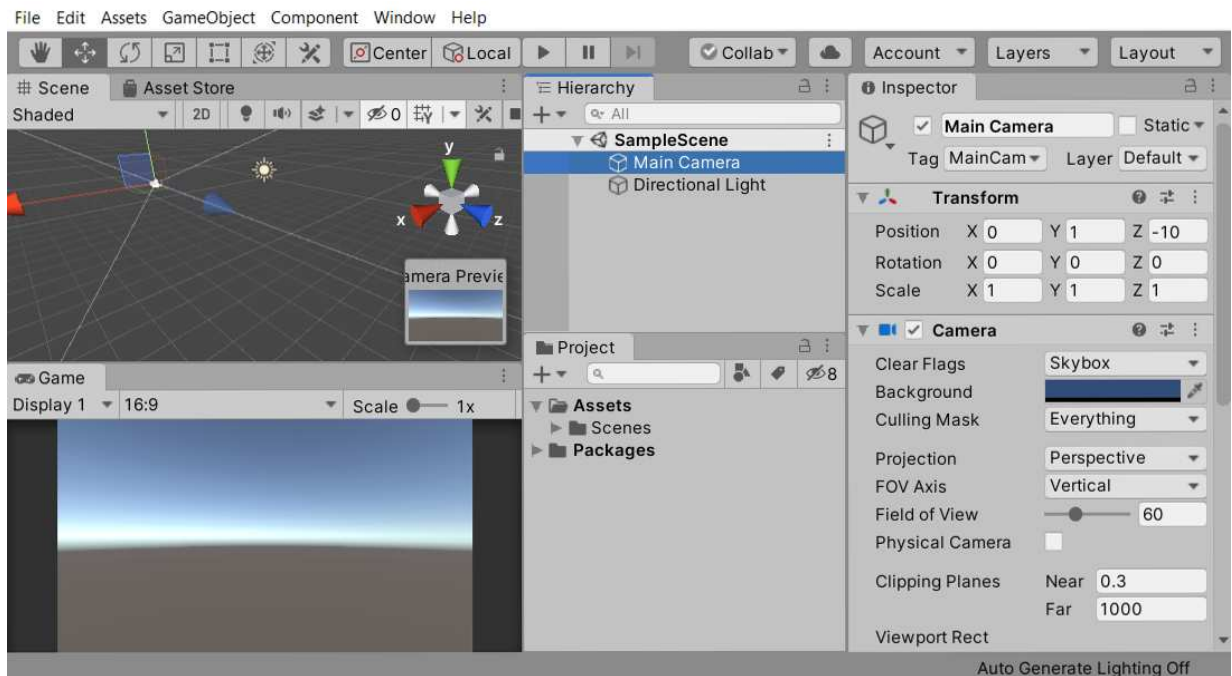
FONTE: A autora (2020)

Conforme observado na tabela, os motores de jogo sozinhos não são suficientes para desenvolver um aplicativo de RA. Já os SDKs e APIs, mesmo com várias vantagens, não funcionam sozinhos, sendo necessário sua associação com um motor de jogo para o desenvolvimento eficaz do artefato. Portanto, a testagem das ferramentas disponíveis foi conduzida em duas etapas: primeiramente foi escolhido o motor de jogo, e depois a SDK e/ou API para auxiliar no desenvolvimento do artefato.

Para o motor de jogo, mesmo o Unreal sendo o único que aceita arquivos .ifc, a autora optou por conduzir o desenvolvimento da pesquisa através do Unity, pela maior facilidade de programação e maior quantidade de documentação disponível

para suporte ao desenvolvedor. Para contornar o problema da compatibilidade de arquivos, optou-se por exportar os modelos BIM em .fbx, permitindo assim a exportação direta entre o *software* BIM (Archicad) e o Unity, sem a necessidade de outros *softwares* para efetuar a conversão. Além disso, a interface do Unity é mais intuitiva que a do Unreal, o que também colaborou para a decisão da autora (FIGURA 15).

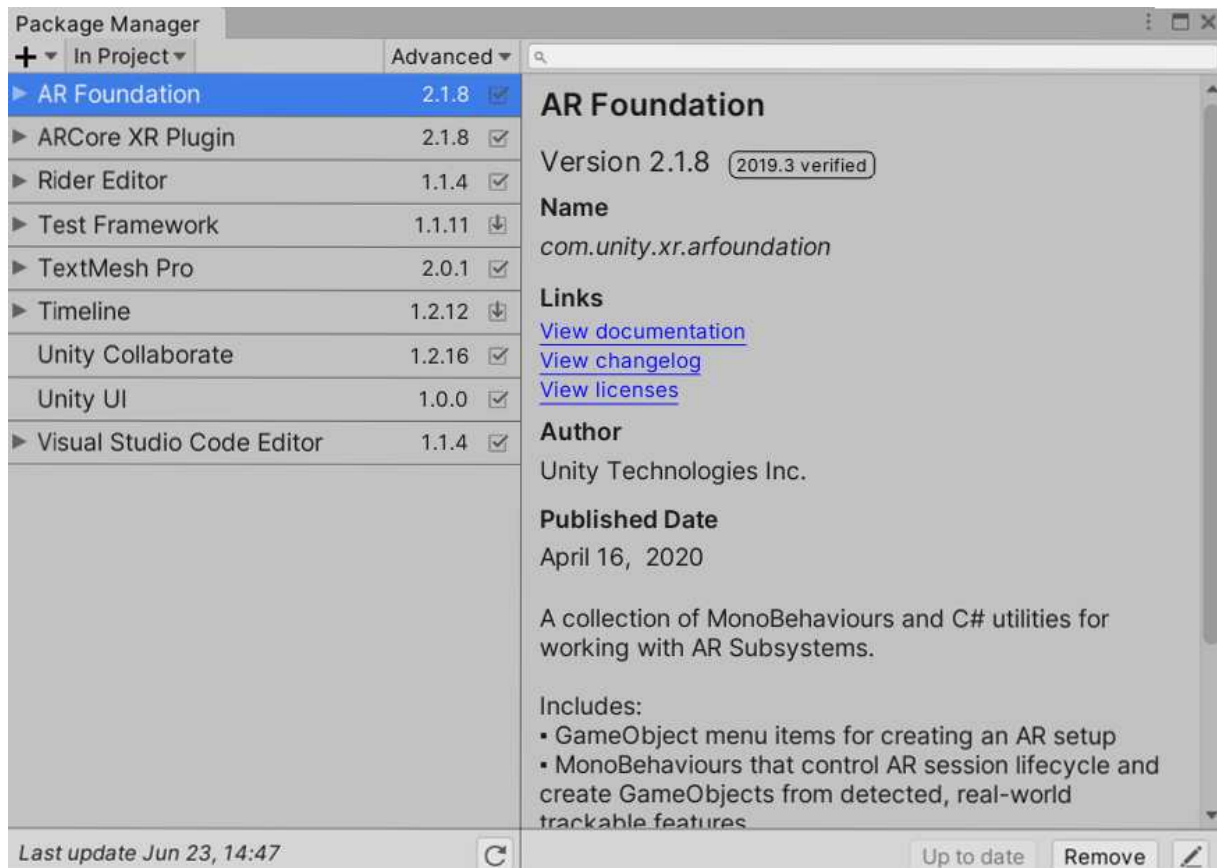
FIGURA 14 – INTERFACE DO UNITY



FONTE: A autora (2020)

Em relação aos SDKs e APIs, o ARKit foi amplamente analisado, porém teve sua testagem limitada, pois seu desenvolvimento é feito exclusivamente através de dispositivos com sistema operacional da Apple, o que limitou a possibilidade de testá-lo à fundo. O Vuforia ofereceu bom reconhecimento de imagens 2D e QR Codes, porém a navegação pelo modelo é limitada, pois se a câmera deixa de apontar para o marcador, o modelo desaparece. Como o objetivo do artefato é permitir a navegação livre dentro da construção para checar a qualidade, o Vuforia foi descartado. O ARCore e o ARFoundation atenderam as necessidades para desenvolvimento do aplicativo, portanto a autora optou por usar ambos, pois eles se complementam. Portanto, o desenvolvimento do artefato se dará por meio do motor de jogo Unity com auxílio de *plug-ins* do ARCore e do ARFoundation, instalados diretamente dentro do Unity (FIGURA 16).

FIGURA 15 – INSTALAÇÃO DOS PLUG-INS DENTRO DO UNITY



FONTE: A autora (2020)

Após a definição das ferramentas a serem utilizadas, foi possível iniciar o processo de desenvolvimento do protótipo. Essa etapa está detalhada no capítulo a seguir.

5 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Para demonstrar a integração entre BIM e RA no controle de qualidade, optou-se pelo desenvolvimento do protótipo de um aplicativo que pudesse apoiar os gestores em processos de conferência na construção.

O protótipo foi concebido para permitir a visualização em escala real de um ambiente, disponibilizando uma ferramenta de fita métrica que checa, dentro de medidas pré-definidas, se o que foi construído está de acordo com o que foi projetado em um software BIM. Essa checagem é feita através de pequenos cubos posicionados em pontos estratégicos. Se a medida tirada em obra for condizente com o projetado, o cubo ficará verde. Caso esteja dentro do limite tolerável de erro, ficará amarelo. E em caso de erro, o cubo ficará vermelho. O processo de conversão e desenvolvimento detalhado do protótipo, assim como todos os recursos utilizados, foram detalhados neste capítulo.

5.1 CONFIGURAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO EM RA

Com base nos programas analisados no capítulo anterior, foram escolhidas as ferramentas que foram utilizadas no desenvolvimento do protótipo. As escolhas são detalhadas na sequência.

5.1.1 Sistema operacional e dispositivo móvel

Os dois sistemas operacionais mais populares no mercado foram considerados para o desenvolvimento do protótipo: Android, do Google, e IOS, da Apple. Foi optado pelo sistema Android pelos seguintes motivos:

- a) Os aparelhos destinados às obras normalmente são mais simples e baratos, tendo o Android como sistema nativo;
- b) O desenvolvimento para IOS requer mais recursos financeiros do que o desenvolvimento para Android, como uma conta paga de desenvolvedor Apple e um computador com sistema OS, como *macbooks*, que são mais caros que os computadores comuns;
- c) Os documentos que servem de suporte para desenvolvimento Android na internet eram mais amplos que os para desenvolvimento IOS.

Com o sistema operacional definido, foi necessário escolher qual dispositivo móvel seria visado no desenvolvimento do protótipo. De acordo com o Google Developers (2021), para funcionamento correto da realidade aumentada, o dispositivo deve suportar no mínimo a versão 7.0 do Android e padrão de programação API level 24. Além disso, para facilitar o manuseio em obras, optou-se por desenvolver o aplicativo voltado para *smartphones*.

Tendo em vista esses requisitos, o dispositivo escolhido e utilizado nos testes foi um Samsung Galaxy S7, do ano de 2017.

5.1.2 SDK, motor de jogo e linguagem de programação

Conforme detalhado no capítulo anterior, o motor de jogo escolhido foi o Unity, e o SDK para desenvolvimento de RA foi o ARFoundation, disponível para download dentro do próprio Unity. Para compilação do aplicativo no sistema android, é necessário utilizar também o plug-in do ARCore.

As linguagens de programação utilizados para programar no Unity são C Sharp (C#), UnityScript e Boo. A linguagem adotada para programação do protótipo foi C#.

5.1.3 Demais especificações

As demais especificações dos hardwares e softwares utilizados, juntamente com os descritos nos itens anteriores, estão sintetizados no QUADRO 4.

QUADRO 4 – ESPECIFICAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Hardwares	Softwares	SDKs
Smartphone Samsung Galaxy S7 com sistema operacional Android versão 8.0.0	Unity versão 2020.1.5f1	AR Foundation versão 4.1.0-preview
Notebook Dell Inspiron 7580 com sistema operacional Windows 10	Archicad 23 versão estudantil	ARCore XR plugin versão 4.1.0-preview

FONTE: A autora (2021)

5.2 REQUISITOS DE MODELAGEM E EXPORTAÇÃO DO MODELO BIM

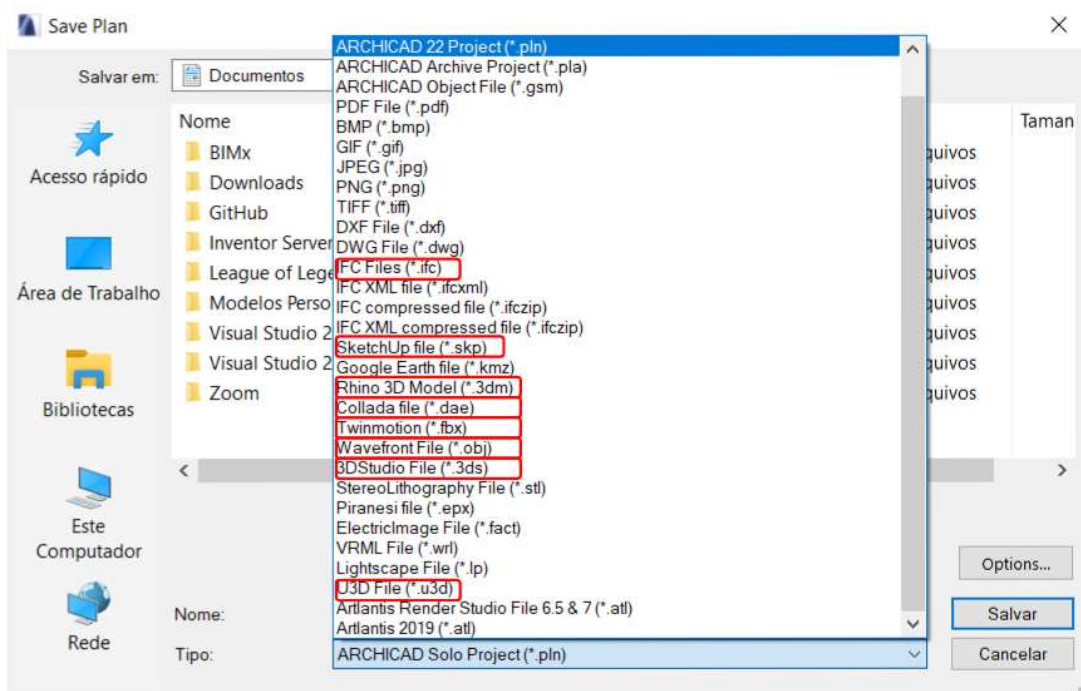
Por afinidade da autora com o processo de modelagem, foi escolhido o *software* Archicad 23, da Graphisoft, para modelagem BIM do modelo utilizado no protótipo.

Uma licença educacional foi cedida pela Graphisoft para condução da pesquisa. A seguir serão detalhados os requisitos para modelagem e exportação do modelo BIM, para melhor funcionamento dentro do Unity.

5.2.1 Exportação

Antes de iniciar o processo de modelagem, optou-se por levantar quais os formatos de arquivo 3D exportados pelo Archicad (FIGURA 17) seriam aceitos pelo Unity.

FIGURA 16 - FORMATOS DE ARQUIVO 3D EXPORTADOS PELO ARCHICAD



FONTE: A autora (2021)

O Unity pode ler arquivos .fbx, .dae (Collada), .3ds, .dxf, .obj e .skp (Unity documentation, 2017). Cruzando estes dados, temos os possíveis formatos a serem exportados para o desenvolvimento do protótipo (QUADRO X).

QUADRO 5 – MODELOS EXPORTADOS PELO ARCHICAD ACEITOS PELO UNITY

Formatos 3D exportados pelo Archicad	.IFC	.SKP	.3DM	.DAE	.FBX	.OBJ	.3DS	.U3D
Formatos importados pelo Unity		x		x	x	x	x	

FONTE: A autora (2021)

O formato de arquivo padrão BIM, o .ifc, não é lido diretamente pelo Unity. Portanto fez-se necessário analisar outros formatos compatíveis. Com a finalidade de definir qual o melhor formato para o desenvolvimento do protótipo, vários testes foram conduzidos exportando arquivos 3D do Archicad para o Unity. Foram levados em consideração a qualidade de texturas, a nomenclatura dos componentes (se eram exportados com nomenclaturas condizentes ao modelo BIM), a forma como os componentes eram divididos, o comportamento e a aparência final do modelo no Unity. Para a condução dos testes, foram baixados da biblioteca Bimarium dois modelos para o Archicad, com diversidade de cores e texturas (FIGURA 18).

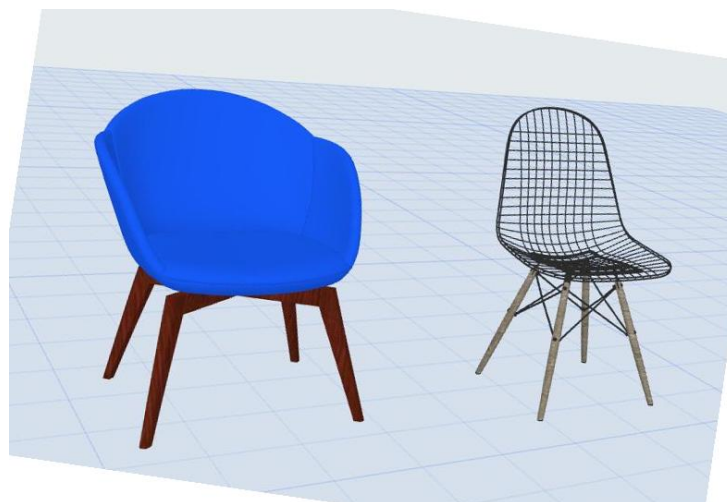
FIGURA 17 – MODELOS UTILIZADOS NOS TESTES



FONTE: Bimarium (2021)

A Figura 19 mostra os dois modelos abertos no Archicad.

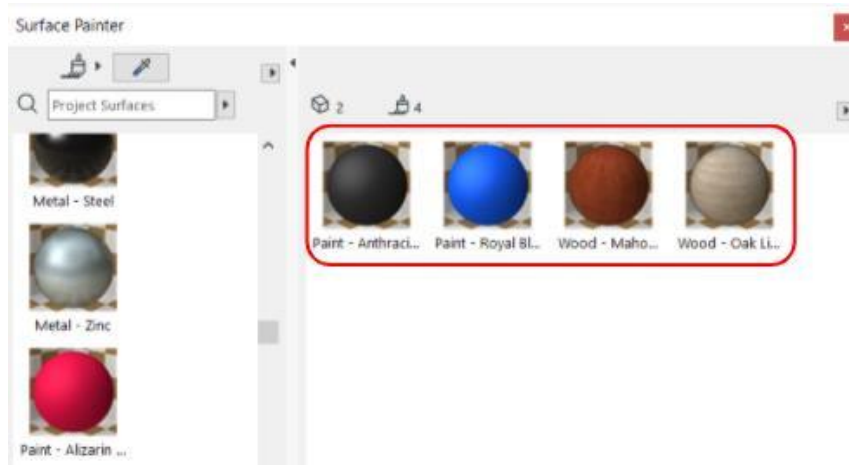
FIGURA 18 – MODELOS NO ARCHICAD



FONTE: A Autora (2021)

Com a finalidade de analisar como as texturas e suas respectivas nomenclaturas, foram documentados também os nomes das texturas dentro do software (FIGURA 20).

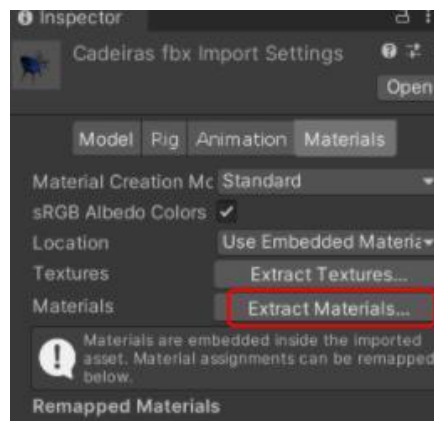
FIGURA 19 - NOMENCLATURA DAS TEXTURAS DENTRO DO ARCHICAD



FONTE: A autora (2021)

Para testar a leitura dos arquivos no Unity, foi criado um arquivo com base no template 3D. A importação é feita arrastando o arquivo desejado dentro da janela “*Project*” do Unity. Após a importação, é necessário mover o objeto 3D (chamado de “*Prefab*” dentro do Unity). Para carregar as texturas corretamente, é necessário extraí-las para dentro do projeto, através do botão “*Extract Materials*” (FIGURA 21). Esse processo foi feito para todos os formatos de arquivo.




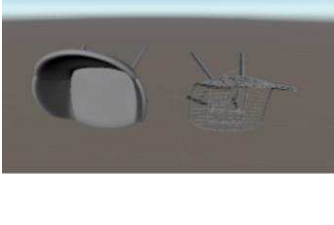

FIGURA 20 – EXTRACT MATERIALS



FONTE: A autora (2021)

As conclusões estão detalhadas no QUADRO 6.

QUADRO 6 – ANÁLISE DE MODELOS EM DIFERENTES FORMATOS

FORMATO	IMAGEM NO UNITY	TEXTURAS E CORES	NOMENCLATURAS	DIVISÃO DE COMPONENTES
.skp		Não estão fiéis ao modelo original. porém não comprometem o entendimento	Iguais ao modelo original	Igual ao modelo original
.dae		Não estão fiéis ao modelo original. porém não comprometem o entendimento	O modelo traz nomenclaturas genéricas (Material 1, Material 2)	Não há divisão de componentes
.fbx		Iguais ao modelo original	Iguais ao modelo original	Igual ao modelo original
.obj		Não carregaram no Unity	Iguais ao modelo original	Igual ao modelo original
.3ds		Semelhantes ao modelo original	Iguais ao modelo original	Não há divisão de componentes

FONTE: A autora (2021)

A exportação no formato .fbx foi a que se manteve mais próxima do modelo original, permitindo fácil entendimento dos componentes e texturas dentro do Unity, sendo escolhido para o desenvolvimento do protótipo do aplicativo.

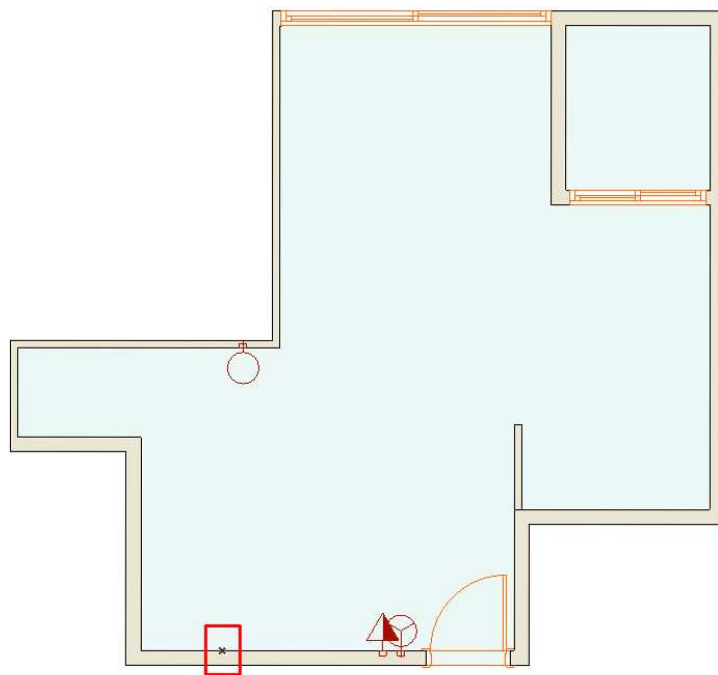
5.2.2 Modelagem

Algumas particularidades devem ser ressaltadas no processo de modelagem para melhor funcionamento dentro do motor de jogo. São elas:

a) Localização do ponto de origem

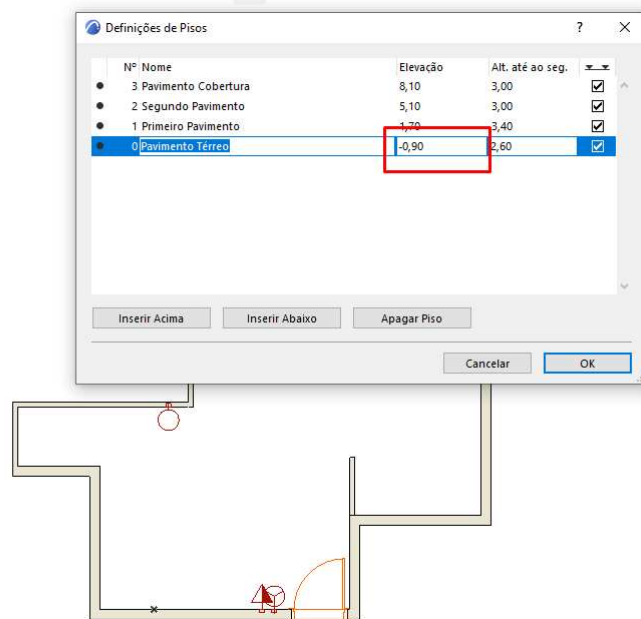
Dentro do Unity, o ponto de origem é uma informação importante, pois irá definir o posicionamento do QR Code. Até o presente momento não é possível alterar essa informação dentro do motor de jogo, portanto o ponto de origem desejado já deve vir configurado do Archicad. O ponto de origem para a condução dos testes de avaliação do protótipo foi definido para estar a uma distância de 90 centímetros do canto direito da parede e 90 centímetros de altura, portanto o arquivo Archicad foi configurado conforme mostram as FIGURAS 22 e 23.

FIGURA 21 – AJUSTE HORIZONTAL DA POSIÇÃO DA ORIGEM



FONTE: A autora (2021)

FIGURA 22 – AJUSTE VERTICAL DA POSIÇÃO DA ORIGEM

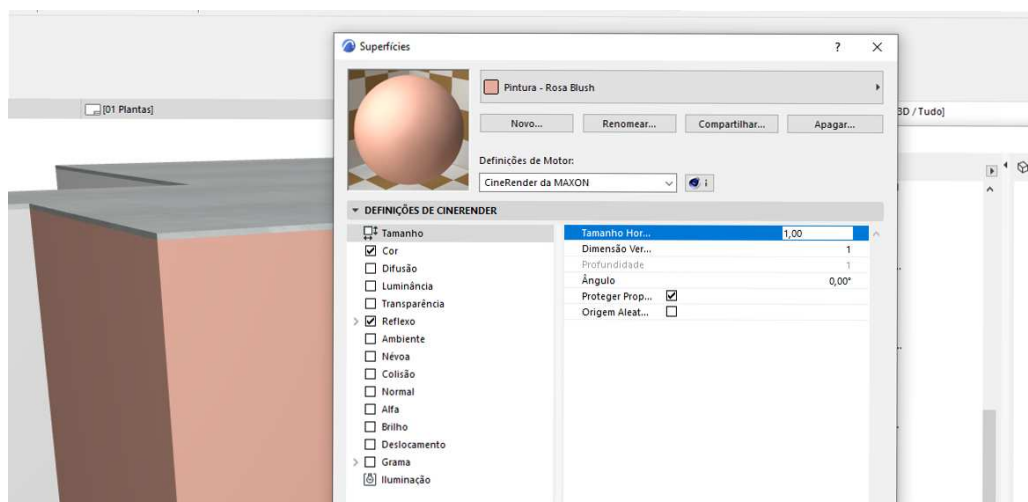


FONTE: A autora (2021)

b) Nomenclatura de texturas

Ao exportar o modelo no formato .fbx para o Unity, cada componente recebe a nomenclatura da textura associada à ele. Portanto, é necessário que as texturas estejam nomeadas de forma que seja possível sua posterior identificação dentro do Unity (FIGURA 24).

FIGURA 23 – NOMENCLATURA DE TEXTURAS

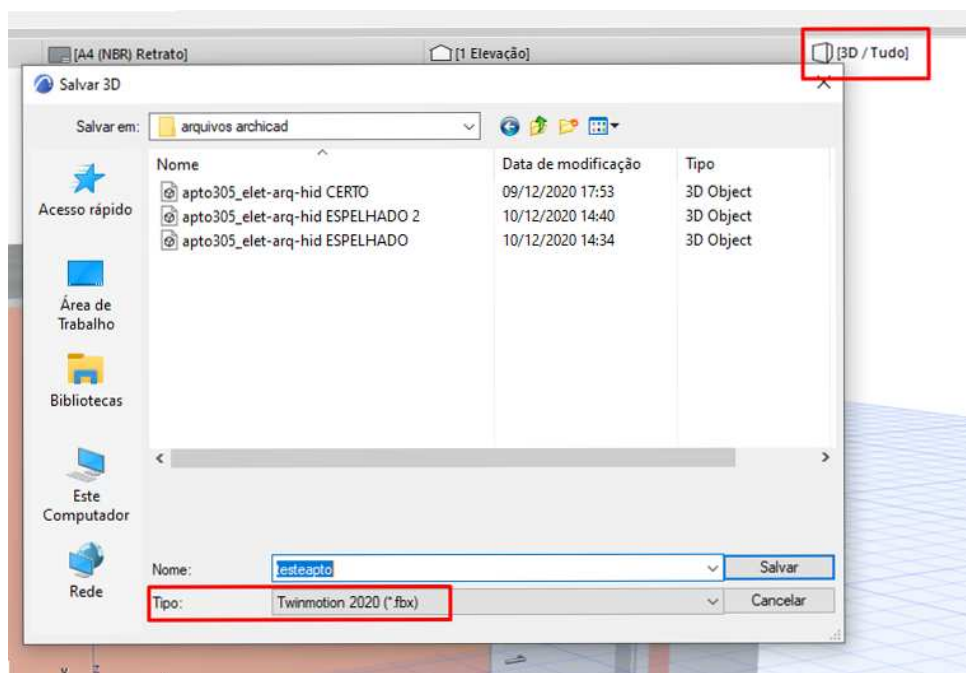


FONTE: A autora (2021)

c) Exportação do modelo em .fbx

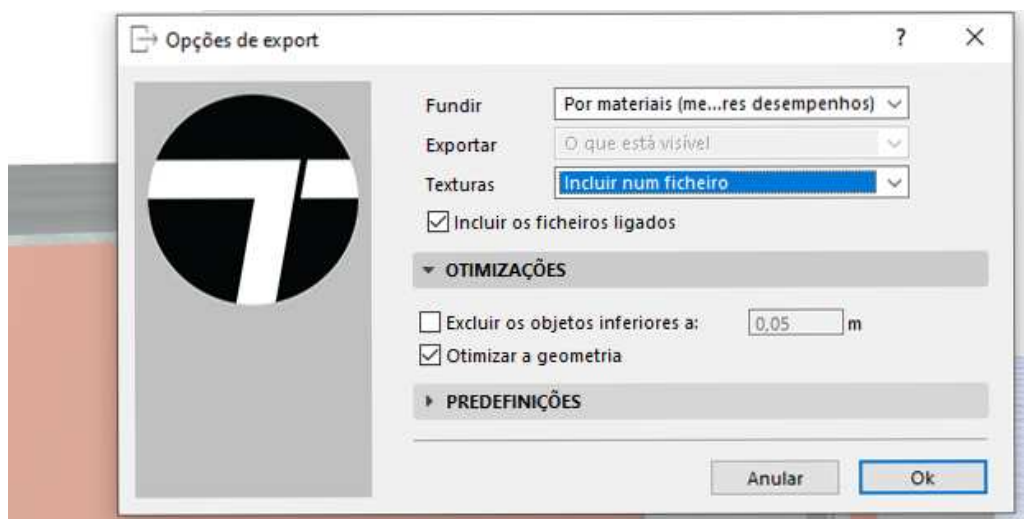
Conforme concluído no item 5.2.1, o formato .fbx é o mais adequado para exportar informações do modelo BIM para o Unity. Para fazer a exportação pelo Archicad, é necessário estar na vista 3D e utilizar a função “Salvar Como” (FIGURA 25). Uma janela para configuração de exportação será exibida, e os ajustes que mais se encaixam na proposta dessa pesquisa foram mostrados na FIGURA 26.

FIGURA 24 – PROCESSO DE EXPORTAÇÃO



FONTE: A autora (2021)

FIGURA 25 – AJUSTES DE EXPORTAÇÃO

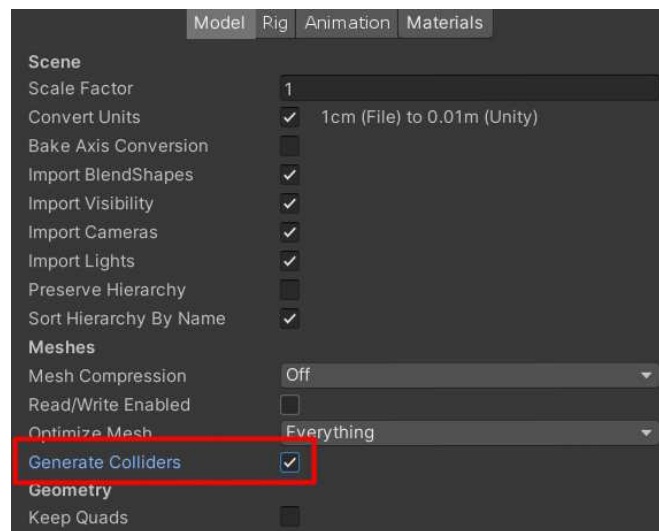


FONTE: A autora (2021)

5.4 CONFIGURAÇÕES INICIAIS NO UNITY

Para iniciar o desenvolvimento do protótipo, algumas configurações iniciais são necessárias. Como citado no tópico anterior, após a exportação do modelo é necessário extrair os materiais para dentro do Unity. Além disso, é necessário ativar a opção “*Generate Colliders*” (FIGURA 27) para permitir a interação com o modelo através da tela do smartphone, durante a execução do aplicativo.

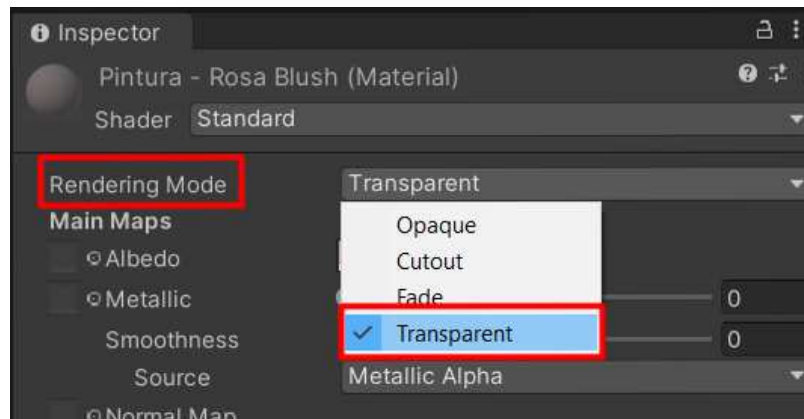
FIGURA 26 – GENERATE COLLIDERS



FONTE: A autora (2021)

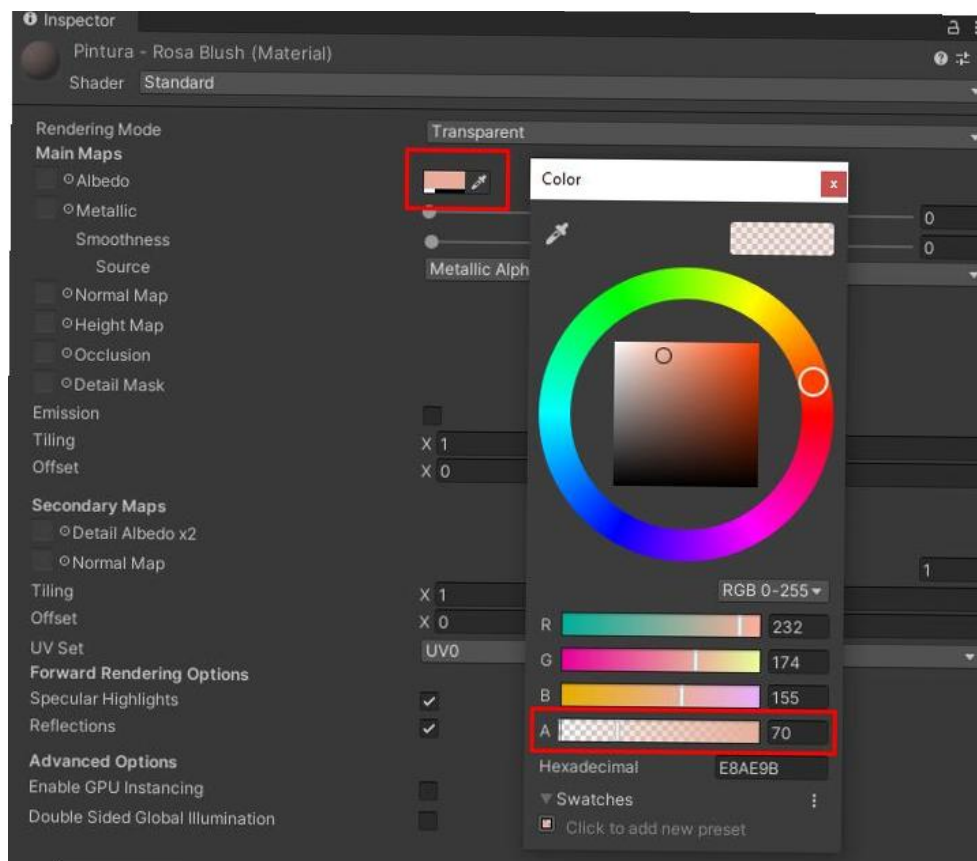
Como o modelo será utilizado em escala real dentro do protótipo, é interessante que ele possua certo nível de transparência para permitir a comparação entre o virtual e o construído. Para configurar essa transparência é necessário editar o material de cada componente que necessite dessa característica. Primeiramente é necessário mudar o modo de renderização (FIGURA 28) e o valor do atributo “A” dentro da configuração de cor (FIGURA 29), onde o valor 255 é totalmente opaco e 0 é totalmente transparente.

FIGURA 27 – MODO DE RENDERIZAÇÃO



FONTE: A autora (2021)

FIGURA 28 – CONFIGURAÇÃO DE TRANSPARÊNCIA



FONTE: A autora (2021)

Um template com diversas funcionalidades aplicadas para RA é disponibilizado pelos desenvolvedores do Unity, com a finalidade de facilitar o desenvolvimento de aplicativos nesse campo, visto que é uma tecnologia recente e ainda pouco explorada. A autora optou por usar a categoria *ImageTracking*, parte do *template* “*ArFoundation-*

Samples” (Unity Technologies, 2020). Essa categoria permite o carregamento de modelos 3D através da leitura de um QRCode.

Nesta fase inicial, é importante citar também os plugins do Unity necessários para o desenvolvimento do protótipo em RA para Android. São eles:

- a) ARFoundation (Versão 4.1.0), SDK para desenvolvimento RA;
- b) ARCore XR Plugin (Versão 4.1.0), que permite que o aplicativo seja executado por dispositivos que tenham o Android como sistema operacional.

A seguir, serão abordadas as etapas para desenvolvimento do protótipo dentro do Unity.

5.5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO NO UNITY

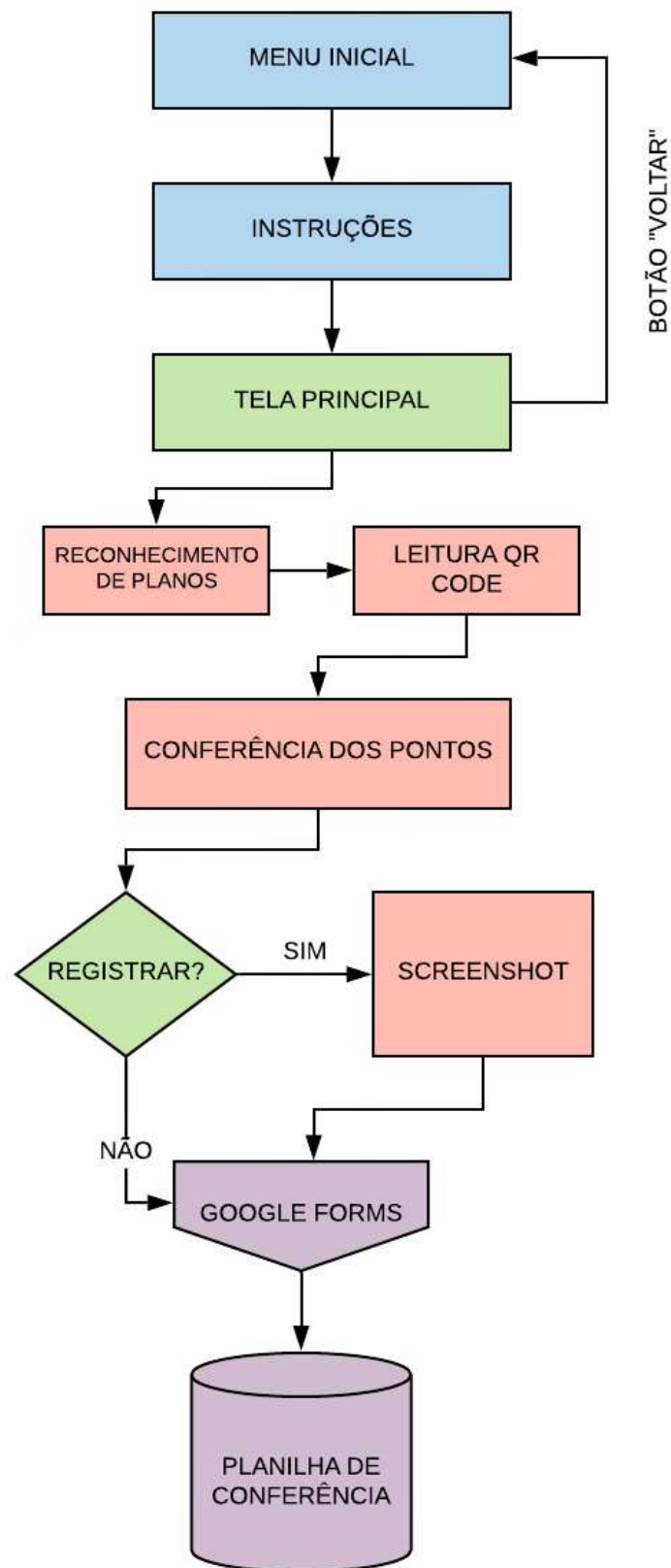
Antes de detalhar o desenvolvimento da aplicação, é importante citar quais serão suas funcionalidades. As funcionalidades estão detalhadas na FIGURA 30 e o fluxo de funcionamento proposto para o protótipo está ilustrado na FIGURA 31.

FIGURA 29 – FUNCIONALIDADES DO PROTÓTIPO

01	MENU INICIAL E INSTRUÇÕES	Primeiras telas do aplicativo, que iniciarão o funcionamento explicando como o protótipo deve ser operado.
02	RECONHECIMENTO DE PLANOS	Nesta etapa, o aplicativo irá fazer o reconhecimento do plano do chão.
03	LEITURA DO QR CODE	O usuário deve apontar a câmera para o QR code, assim o aplicativo irá carregar o modelo do cômodo a ser medido.
04	MEDIÇÃO	O usuário deverá usar o aplicativo como se fosse uma fita métrica, medindo a distância do canto da parede até o ponto a ser conferido na construção.
05	CHECAGEM	Se o ponto tiver sido executado no local correto, o cubo acima dele ficará verde. Se estiver dentro do limite tolerável de falha, ficará amarelo e, se estiver totalmente errado, o cubo irá mudar para a cor vermelha.
06	DOCUMENTAÇÃO	O usuário terá a opção de clicar no botão “Registrar”, onde irá documentar se os pontos estão de acordo com o projetado ou não.

FONTE: A autora (2021)

FIGURA 30 – FLUXO DE FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO



FONTE: A autora (2021)

As particularidades de programação de cada etapa mencionada na Figura 30 serão detalhadas a seguir. As fotos das aplicações em desenvolvimento estarão no capítulo 6 (Avaliação do Protótipo).

5.5.1 Menu Inicial

O menu inicial é a primeira tela mostrada ao iniciar a aplicação (FIGURA 32). A tela seguinte mostra algumas instruções para utilizar de forma correta o protótipo (FIGURA 33).

FIGURA 31 – TELA INICIAL

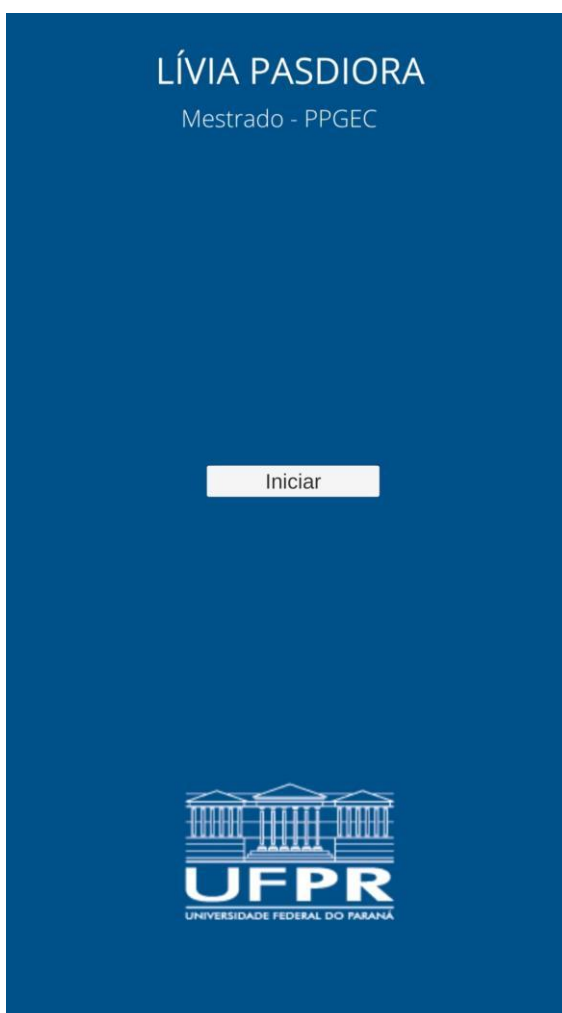
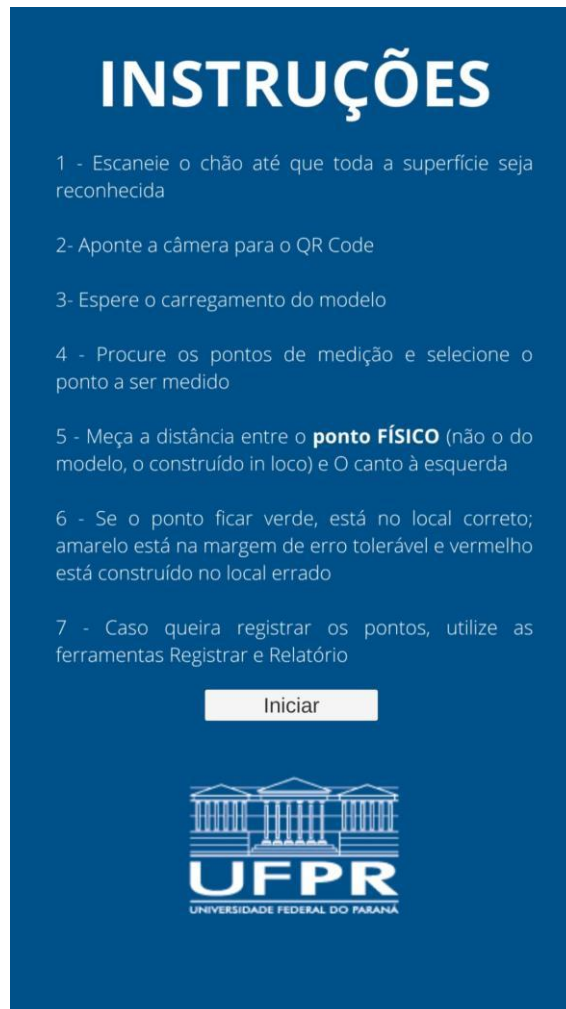


FIGURA 32 - INSTRUÇÕES



FONTE: A autora (2021)

5.5.2 Reconhecimento de Planos

O reconhecimento de planos é necessário para garantir que a funcionalidade de medição funcione nas etapas seguintes. O *template* oferecido pelo Unity já possui esse recurso, com o nome de “*AR Plane Manager*” (FIGURA 34)

FIGURA 33 – AR PLANE MANAGER



FONTE: A autora (2021)

5.5.3 Leitura do QR Code

Nesta etapa, o usuário irá apontar a câmera do *smartphone* para um QR code (FIGURA X), que será fixado no local pré-definido na etapa de modelagem (FIGURA 35). O dispositivo irá ler o QR code e carregar o modelo em escala 1:1, permitindo que o usuário veja e ande por dentro do do modelo BIM, através da tela do *smartphone*.

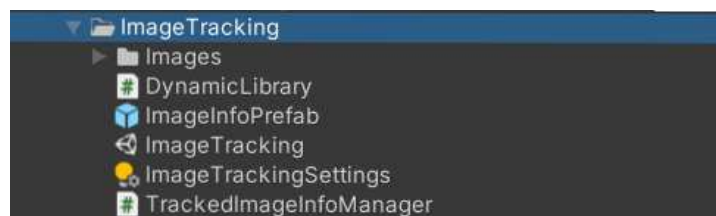
FIGURA 34 – QR CODE UTILIZADO



FONTE: A autora (2020)

Os códigos e *prefabs* necessários para o desenvolvimento desta etapa também foram retirados do *template* fornecido pelo Unity (FIGURA 36).

FIGURA 35 – CÓDIGOS E PREFABS FORNECIDOS PELO UNITY



FONTE: A autora (2021)

5.5.4 Medição

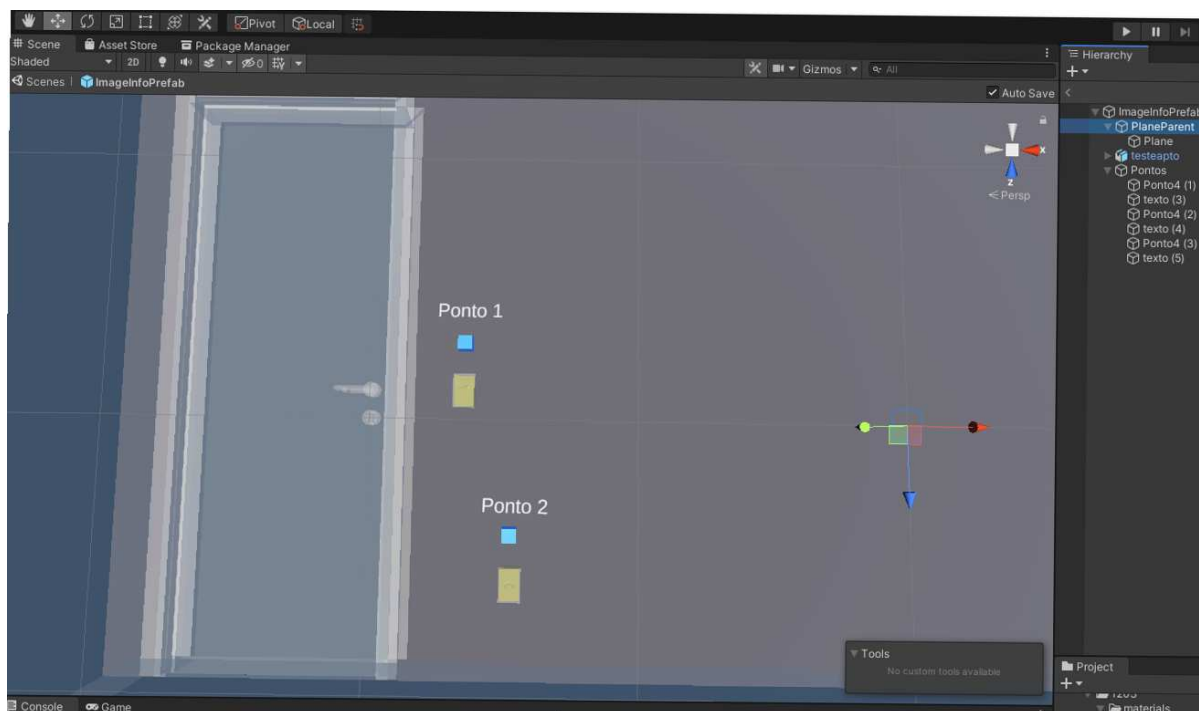
Essa funcionalidade faz com que a câmera do celular funcione como uma fita métrica, medindo a distância entre dois pontos. Foi adicionada ao protótipo como forma de validar pontos pré-determinados na construção, comparando se estão no mesmo local onde foram projetados.

Para implementar essa função, foi usado como base o código em C# desenvolvido pelo programador Dilmerv (2020). Algumas mudanças foram feitas para adequação do código à proposta do protótipo. O código completo encontra-se no APÊNDICE I.

5.5.5 Checagem

O usuário irá fazer a medição dos pontos indicados e se a medida mostrada pela fita métrica for a mesma que a encontrada em projeto (com uma tolerância de dois centímetros a mais ou a menos) o cubo acima do objeto (FIGURA 37) ficará verde. Com base na premissa do Código Civil apresentada na revisão bibliográfica, foi determinada uma tolerância de erro média da obra em relação ao projeto (4 centímetros para mais ou para menos) e, se a medida ficar neste intervalo, o cubo ficará amarelo. Caso a medida esteja fora das condições citadas, ficará vermelho. Essa representação visual permitirá checar rapidamente se a construção está em conformidade com o projeto, sendo uma alternativa mais rápida e fácil à tradicional checagem com trena.

FIGURA 36 – CUBOS PARA CHECAGEM DOS PONTOS

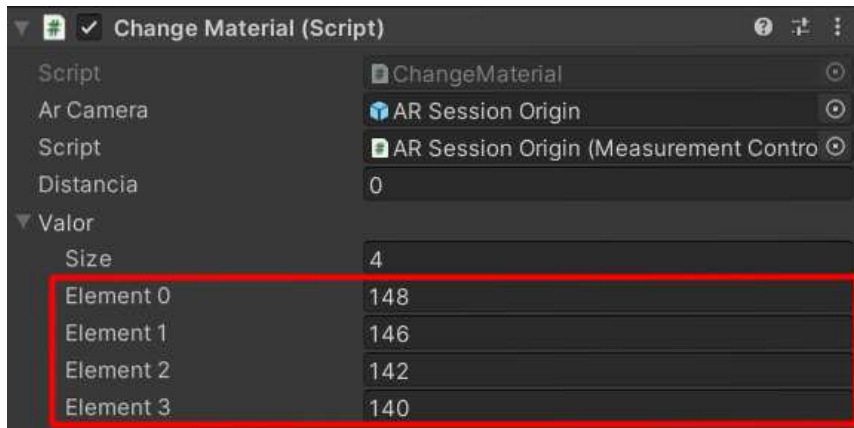


FONTE: A autora (2021)

O código desta funcionalidade também foi escrito em C#, e desenvolvido pela autora. O mesmo código foi utilizado para todos os pontos, sendo necessário apenas

mudar os valores (FIGURA 38) para cada ponto, de acordo com as medidas do projeto. As cores para cada situação também foram definidas no código em C# (FIGURA 39)

FIGURA 37 – MUDANÇA DE VALORES DE MEDIDA



FONTE: A autora (2021)

FIGURA 38 – CÓDIGO PARA MUDANÇA DE COR

```
void Update()
{
    script = GameObject.Find("AR Session Origin").GetComponent<MeasurementController>();
    if (script != null)
        distancia = script.Distance();

    if (_selected)
    {
        if (distancia < valor[0] && distancia >= valor[1])
            _mat.color = Color.yellow;

        else if (distancia < valor[1] && distancia >= valor[2])
            _mat.color = Color.green;

        else if (distancia < valor[2] && distancia >= valor[3])
            _mat.color = Color.yellow;

        else
            _mat.color = Color.red;
    }
    else
    {
        _mat.color = _originalColor;
    }
}
```

FONTE: A autora (2020)

Como são vários os pontos e todos eles estão atrelados ao mesmo código de mudança de cor, fez-se necessário escrever mais um código, que seleciona os objetos (FIGURA 40) de uma categoria pré-definida (FIGURA 41) e permite fazer a checagem de um ponto de cada vez.

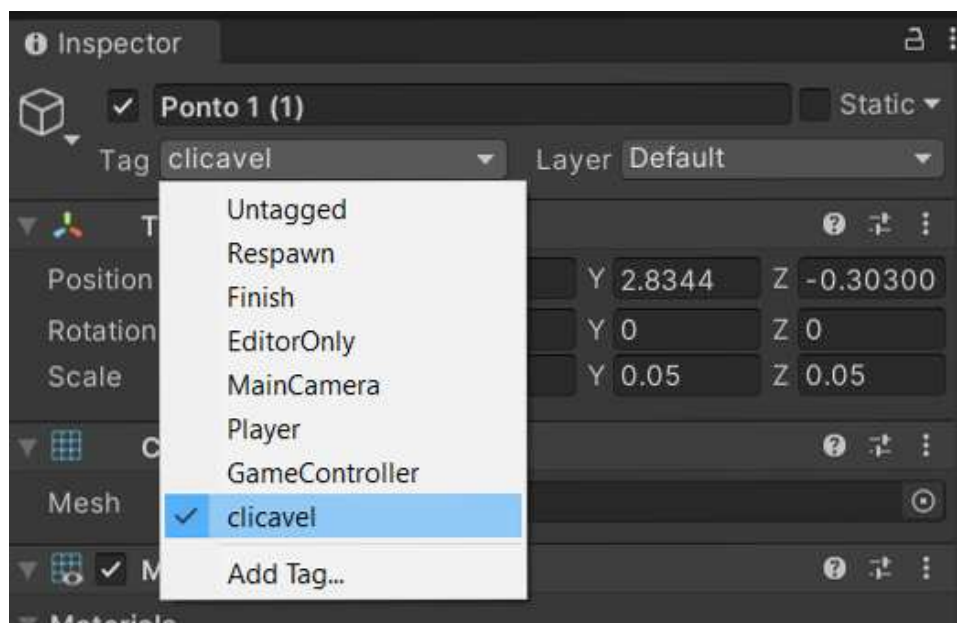
FIGURA 39 – CÓDIGO PARA SELEÇÃO DE OBJETOS

```
public class SelectManager : MonoBehaviour
{
    private ChangeMaterial[] _select;

    void Start()
    {
        GameObject[] meninos = GameObject.FindGameObjectsWithTag("clicavel");
        _select = new ChangeMaterial[itens.Length];
        for (int i = 0; i < itens.Length; i++)
        {
            _select[i] = itens[i].GetComponent<ChangeMaterial>();
            _select[i].SetSelected(false);
        }
    }
}
```

FONTE: A autora (2021)

FIGURA 40 – CATEGORIA CRIADA PARA SELEÇÃO DE OBJETOS



FONTE: A autora (2021)

5.5.6 Documentação

Por fim, o usuário tem a possibilidade de registrar e comunicar o gestor da obra caso algum ponto não esteja de acordo com o projeto. O protótipo possui dois botões, “Registrar” e “Relatório” (FIGURA 42).

FIGURA 41 – BOTÕES REGISTRAR E RELATÓRIO



FONTE: A autora (2021)

O botão “registrar” está atrelado a um código que tira um *screenshot* da tela e salva em uma pasta interna do *smartphone*. Tal funcionalidade foi implementada a partir do código mostrado na Figura 43.

FIGURA 42 – CÓDIGO SCREENSHOT

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class TakeScreenshot : MonoBehaviour
{
    public void TakeAShot()
    {
        StartCoroutine("CaptureIt");
    }

    IEnumerator CaptureIt()
    {
        string timeStamp = System.DateTime.Now.ToString("dd-MM-yyyy-HH-mm-ss");
        string fileName = "Screenshot" + timeStamp + ".png";
        string pathToSave = fileName;
        ScreenCapture.CaptureScreenshot(pathToSave);
        yield return new WaitForEndOfFrame();
        Instantiate(blink, new Vector2(0f, 0f), Quaternion.identity);
    }
}

```

FONTE: A autora (2020)

Por sua vez, o botão “Relatório” possui um código (FIGURA 44) que redireciona o usuário à um formulário do Google, que deve ser preenchido identificando o ponto analisado, possíveis não-conformidades da construção com o projeto, e um campo que permite anexar a foto tirada através do botão “Registrar” descrito anteriormente. O gestor da obra pode controlar as respostas em tempo real, a partir da funcionalidade “Ver as respostas no Planilhas”, disponível no formulário do Google.

FIGURA 43 – CÓDIGO BOTÃO RELATÓRIO

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class OpenUrl : MonoBehaviour
{
    public string Url;

    public void Open()
    {
        Application.OpenURL(Url);
    }
}

```

FONTE: A autora (2021)

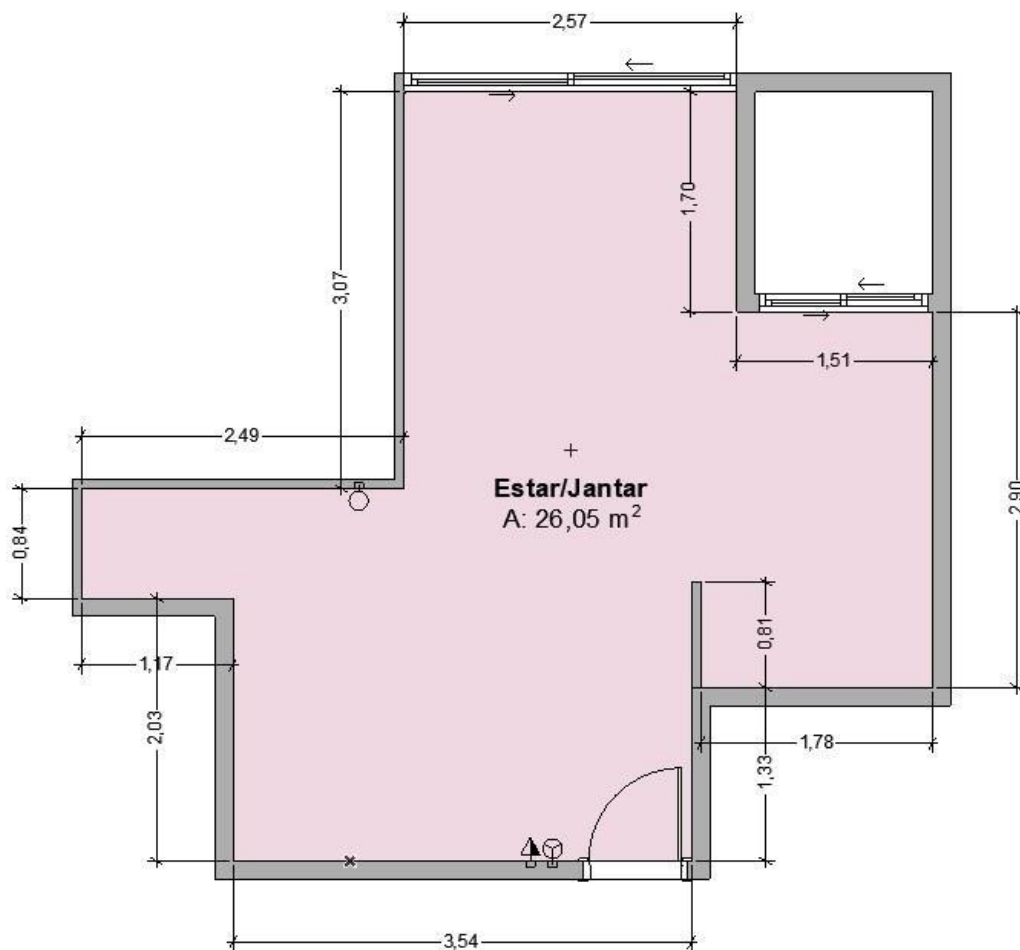
No capítulo a seguir, será detalhado o processo de avaliação do protótipo.

6 AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO

A avaliação do protótipo de RA tem como finalidade avaliar se as funcionalidades propostas no capítulo anterior atuam conforme o planejado, na forma de experimentos. Desta forma, é possível descobrir possíveis defeitos e propor melhorias. Como as aplicações em RA dependem de outros fatores, como *QR codes*, essa fase também busca validar tais recursos.

A ideia original era conduzir os experimentos de avaliação em obras, principalmente em edifícios com diversos pavimentos e unidades. Porém, em decorrência da pandemia da Covid-19, não foi possível fazer as visitas na obra com a frequência necessária. Portanto, a autora optou por conduzir os experimentos na sala da sua residência (FIGURA 45). A seguir, a execução dos experimentos foi detalhada, conforme o que foi delineado no capítulo 3.

FIGURA 44 – PLANTA BAIXA DA SALA



FONTE: A autora (2021)

6.1 EXPERIMENTO I

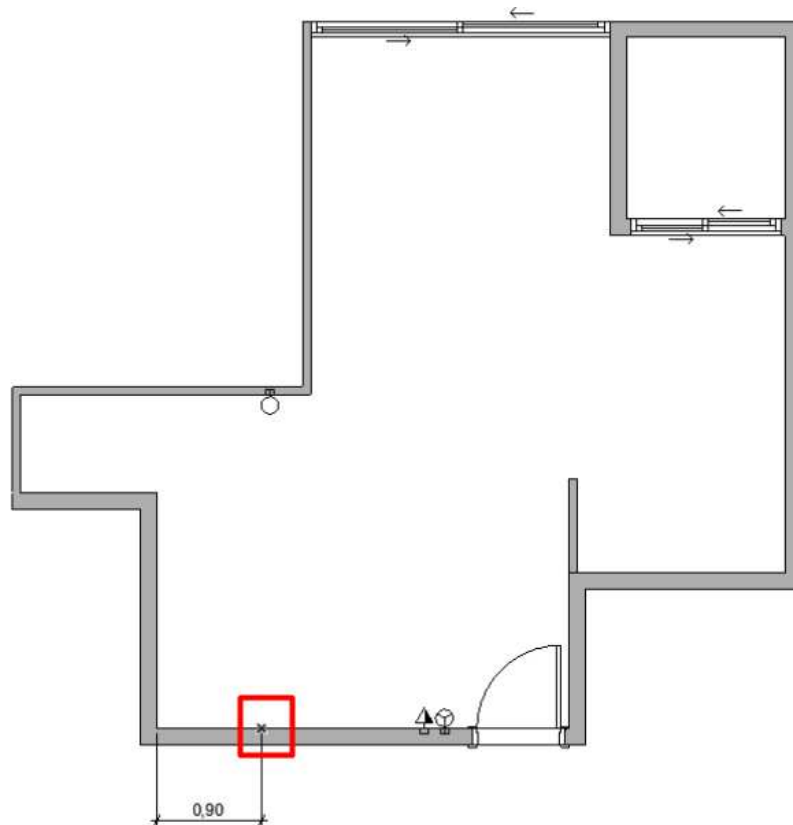
O experimento I consistiu no estudo das possibilidades para um modelo BIM conseguir ser utilizado em softwares de desenvolvimento RA. Essa etapa, onde foi estudada a conversão do modelo para formatos aceitos no motor de jogo Unity, foi descrita no capítulo anterior. O experimento obteve resultados satisfatórios, e o formato de arquivo .fbx atendeu todos os critérios necessários.

6.2 EXPERIMENTO II

Essa etapa buscou testar o reconhecimento dos marcadores, o posicionamento do modelo em relação ao mundo real e a qualidade visual do modelo na tela do *smartphone*.

O marcador foi posicionado conforme mostra a FIGURA 46. O posicionamento pode ser conferido visualmente, pois o modelo está em escala real e correspondeu às dimensões reais do apartamento (FIGURA 47).

FIGURA 45 – POSICIONAMENTO DO MARCADOR



FONTE: A AUTORA (2021)

FIGURA 46 – TESTE DE LEITURA DO QR CODE



FONTE: A autora (2021)

Quanto à qualidade visual do modelo, o teste também foi satisfatório, permitindo enxergar de maneira clara a sobreposição do modelo virtual na cena real (FIGURA 48).

FIGURA 47 – TESTE DE TRANSPARÊNCIA



FONTE: A autora (2021)

O experimento trouxe resultados positivos, porém evidenciou o fato de o posicionamento através de um QR code pode ser suscetível a falhas, pois se o *smartphone* estiver torto na hora da leitura da imagem, o modelo pode ficar fora de posição (FIGURA 49).

FIGURA 48 – FALHAS NO POSICIONAMENTO



FONTE: A autora (2021)

6.3 EXPERIMENTO III

O experimento III foi proposto com a finalidade de avaliar a interatividade do protótipo e foi dividido em sub-etapas para facilitar o processo de avaliação:

- a) Reconhecimento de planos: para permitir a medição dos pontos, é necessário o reconhecimento dos planos pelo aplicativo. Conforme mostrado na FIGURA 50, essa etapa trouxe os resultados esperados.

FIGURA 49 – RECONHECIMENTO DE PLANOS



FONTE: A autora (2021)

- b) Ferramenta fita métrica: para conferir se o ponto pré-definido foi locado da mesma forma que no projeto, a autora propôs a ferramenta de fita métrica com a finalidade de checar o ponto com precisão. Conforme mostrado na FIGURA 51, a ferramenta funcionou com a precisão esperada.

FIGURA 50 – CONFERÊNCIA DA FERRAMENTA FITA MÉTRICA

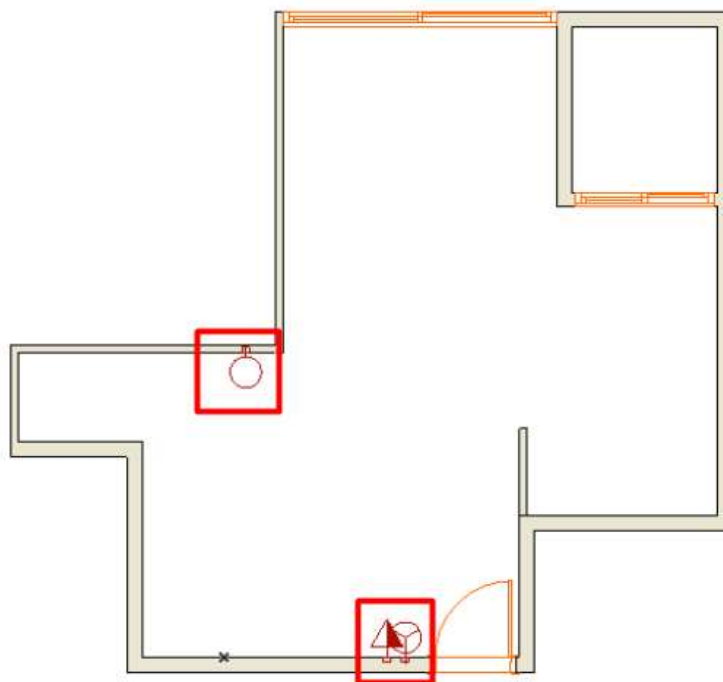


FONTE: A autora (2021)

- c) Mudança de cor nos pontos de medição: com base nas medidas aferidas pela ferramenta de fita métrica, o cubo locado acima de cada ponto de medição muda de cor: verde se o ponto estiver no local correto (com uma tolerância de 2 cm para mais ou para menos), amarelo se o ponto estiver com um erro tolerável (4 cm para mais ou para menos) e vermelho se estiver fora da tolerância de erro. Para conduzir essa avaliação, 3 pontos, ilustrados na FIGURA 52, foram avaliados. O primeiro foi colocado no local correto (FIGURA

53), o segundo dentro do erro tolerável (FIGURA 54) e o terceiro fora da tolerância de erro (FIGURA 55). A etapa trouxe resultados positivos.

FIGURA 51 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO



FONTE: A autora (2021)

FIGURA 52 – PONTO EM LOCAL CORRETO



FONTE: A autora (2021)

FIGURA 53 – PONTO DENTRO DA TOLERÂNCIA DE ERRO



FONTE: A autora (2021)

FIGURA 54 – PONTO EM LOCAL INCORRETO



FONTE: A autora (2021)

- d) Registro através da ferramenta *screenshot*: caso o usuário queira registrar algum ponto que esteja com erro, para comunicar posteriormente ao gestor da obra, foi desenvolvida a função “Registrar”. Essa etapa também obteve êxito.
- e) Preenchimento do relatório: por fim, o usuário pode abrir um formulário do Google, através do botão “Relatório”, com a finalidade de documentar quais pontos estão corretos e quais estão com erro (FIGURA 56). Os resultados podem ser conferidos em tempo real através de uma planilha do Google (FIGURA 57). Essa fase também foi concluída de forma satisfatória.

FIGURA 55 - RELATÓRIO

The figure displays two side-by-side screenshots of a mobile application interface, likely for a BIM-RA prototype. Both screenshots show a Google Docs form titled "FORMULÁRIO".

Left Screenshot:

- Title:** PROTÓTIPO BIM-RA
- Text:** O nome e a foto associados à sua Conta do Google serão registrados quando você fizer upload de arquivos e enviar este formulário.
- Form Field:** Identificação do Ponto. Below the label is a text input field containing "Sua resposta".
- Status:** A label "Status" is visible at the bottom left of the form area.

Right Screenshot:

- Form Field:** Identificação do Ponto. Below the label is a text input field containing "PONTO 2".
- Status:** A label "Status" is visible above a text input field containing "Amarelo (ok)".
- Action:** A button labeled "Adicionar arquivo" with an upload icon is located at the bottom of the form area.

Both screenshots show a mobile status bar at the top with 71% battery and 17:08 time. The bottom navigation bar includes icons for back, forward, home, star, folder, and a menu icon with a red "N" badge.

FONTE: A autora (2021)

FIGURA 56 – PLANILHA PARA CONTROLE DE CONFERÊNCIAS

	A	B	C	D
1	Carimbo de data/hora	Identificação do Ponto	Status	Screenshot
2	14/03/2021 18:56:54	Ponto 1	Verde (ok)	https://drive.google.com/open?id=1Y0YJCWtzQbK2YiFD7doS5a6UZHzeEqL_
3	14/03/2021 18:57:43	Ponto 2	Amarelo (ok)	ht
4	14/03/2021 18:58:28	Ponto 3	Vermelho (REVER)	ht Screenshot_20210313-170... /zyBS3i1L1V0 FpVQBMGq2aYHAA
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

FONTE: A autora (2021)

Em síntese, a maioria dos experimentos propostos alcançaram êxito, conforme mostra o QUADRO 7. A única limitação se deu na etapa do posicionamento através do QR Code, que pode ser passível de erros, o que levou a avaliar o resultado do experimento como “regular”.

QUADRO 7 – SÍNTESE DOS RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

EXPERIMENTO	OBJETIVO	DESCRIÇÃO	RESULTADO
Experimento I	Conversão	Possibilidades de conversão de um arquivo BIM para softwares de desenvolvimento RA	Positivo
Experimento II	Posicionamento	Posicionamento do modelo no ambiente real em escala 1:1	Regular
Experimento III	Interatividade	Reconhecimento de planos horizontais	Positivo
		Ferramenta de medição	Positivo
		Mudança de cor nos pontos de medição	Positivo
		Registro dos pontos medidos	Positivo
		Preenchimento do relatório	Positivo

FONTE: A autora (2021)

A autora optou por seguir com essa forma de posicionamento mesmo assim, por limitação de tempo. Porém outras possíveis alternativas para melhor execução dessa fase foram levantadas na seção “Sugestões para trabalhos futuros”, no capítulo 8.

7 VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A etapa de validação é necessária para atestar se o desenvolvimento do artefato se deu de maneira satisfatória. A validação do artefato proposto, a documentação do processo de conversão de um modelo BIM para uso em RA, se deu através da confirmação que o resultado do artefato, o protótipo de um aplicativo, funciona para o fim que foi proposto.

A maneira mais comum de validar o funcionamento de um aplicativo é através dos conceitos da *user experience* (UX). A UX é descrita como um fenômeno pessoal e subjetivo, que emerge quando o usuário interage com um produto ou aplicação. Em outras palavras, é o que o usuário sente ao utilizar um produto (OLSSON, 2013). Com a finalidade de avaliar a experiência do usuário em aplicações de realidade aumentada, Guimarães e Martins (2014) elaboraram um *checklist*, onde o usuário avalia o aplicativo em diferentes pontos. A autora adaptou os tópicos de avaliação para a realidade da pesquisa, e os itens para a avaliação estão discriminados no QUADRO 8.

QUADRO 8 – ITENS PARA AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO

Nº	Item
1	É possível identificar o que está acontecendo durante todas as interações?
2	É possível executar uma ação "desfazer" facilmente?
3	A aplicação alcança o objetivo proposto?
4	O número de objetos virtuais na cena é apropriado?
5	O número de opções de interação é satisfatório?
6	A liberdade de movimento durante a execução do aplicativo é satisfatória?
7	O tempo de carregamento dos objetos virtuais na cena é adequado?
8	Os objetos virtuais estão posicionados corretamente em relação ao mundo real?
9	É fácil lembrar das funcionalidades da aplicação?
10	A linha de aprendizado é fácil para novos usuários?
11	É fácil colocar o marcador em uma posição apropriada e orientação a ser detectada pela câmera / sensor?
12	O usuário é instruído da forma correta de operar o aplicativo durante a interação?
13	O sistema de rastreamento do marcador é estável?

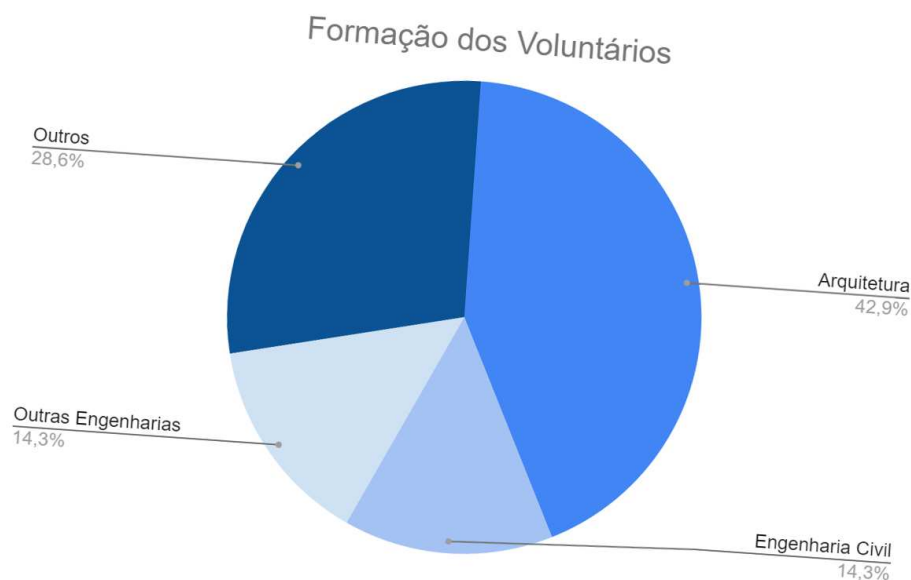
FONTE: A autora (2021) com base em Guimarães e Martins (2014)

A ideia inicial era testar o protótipo ou com funcionários de uma obra multi pavimento ou com alunos de graduação da UFPR. Porém, por conta da pandemia da Covid-19, não foi possível executar os testes de validação conforme o planejado. Portanto, o teste foi feito na residência da autora, e contou com a participação de 7 voluntários, formados em diferentes áreas do conhecimento, que testaram o protótipo e deram uma nota de 1 a 5 para cada um dos itens listados acima, onde a nota 1 era a mais baixa e a 5 a mais alta. Os resultados estão detalhados a seguir. O questionário completo pode ser encontrado no APÊNDICE II.

7.1 PERFIL DOS VOLUNTÁRIOS

O objetivo dessa etapa foi fazer um breve levantamento acerca da área de formação dos voluntários, buscando opiniões de diferentes profissionais na avaliação do protótipo. O resultado obtido está ilustrado no GRÁFICO 4.

GRÁFICO 4 – FORMAÇÃO DOS VOLUNTÁRIOS DA PESQUISA



FONTE: A autora (2021)

As notas dadas pelos profissionais da construção civil (arquitetura e engenharia civil) foram similares àquelas dadas por profissionais de outras áreas. Portanto, a formação dos voluntários não teve peso no cálculo da nota média de cada item.

7.2 AVALIAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES DO PROTÓTIPO

Foi solicitado aos voluntários que dessem uma nota, de 1 a 5 (onde 1 era a mais baixa e 5 a mais alta) para as funcionalidades do aplicativo, conforme listado anteriormente. Para possibilitar a análise dos resultados, foi feita uma média simples entre as notas recebidas por cada item. O resultado pode ser conferido no QUADRO 9.

QUADRO 9 – MÉDIA DAS NOTAS DE CADA ITEM DE AVALIAÇÃO

Nº	Item	Nota Média
1	É possível identificar o que está acontecendo durante todas as interações?	4,8
2	É fácil executar uma ação "desfazer"?	4
3	A aplicação alcança o objetivo proposto?	4,8
4	O número de objetos virtuais na cena é apropriado?	4,2
5	O número de opções de interação é satisfatório?	4,4
6	A liberdade de movimento durante a execução do aplicativo é satisfatória?	3
7	O tempo de carregamento dos objetos virtuais na cena é adequado?	4,8
8	Os objetos virtuais estão posicionados corretamente em relação ao mundo real?	2,5
9	É fácil lembrar das funcionalidades da aplicação?	4,7
10	A linha de aprendizado é fácil para novos usuários?	4,7
11	É fácil colocar o marcador em uma posição apropriada e orientação a ser detectada pela câmera / sensor?	3,4
12	O usuário é instruído da forma correta de operar o aplicativo durante a interação?	4,8
13	O sistema de rastreamento do marcador é estável?	2,7

FONTE: A autora (2021)

A análise dos resultados obtidos com os questionários será feita no item a seguir.

7.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

De forma geral, constatou-se que o uso de RA, por meio do protótipo proposto, foi bem aceito por todos os voluntários que o testaram durante a etapa de validação. Os itens que obtiveram as melhores notas foram aqueles ligados à facilidade de

entender e manusear o protótipo, além dos voluntários acreditarem também que a aplicação atende o objetivo para o qual foi proposto.

Os itens que obtiveram notas menores estão todos relacionados com o sistema de posicionamento por marcadores. A autora já tinha observado essa falha na fase de avaliação do protótipo, mas por limitação de tempo foi inviável mudar todo o sistema de posicionamento. As maiores reclamações dos usuários foram acerca da sensibilidade do posicionamento por marcadores, visto que se o *smartphone* estiver levemente fora do prumo, isso irá afetar no posicionamento do modelo. Além disso, o sistema de posicionamento utilizado permite pouca liberdade de movimento, sendo uma opção muito instável. Se o usuário se mover muito rápido, o modelo perde o ponto de referência do QR Code, ficando totalmente fora do lugar. Quando isso ocorre, é necessário reiniciar o aplicativo e começar a medição do zero.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as conclusões acerca da pesquisa e algumas sugestões para trabalhos futuros que venham tratar do mesmo tema.

8.1 CONCLUSÕES

O objetivo da presente dissertação foi avaliar se o uso de *smartphones* e realidade aumentada integrada ao BIM poderia aperfeiçoar o processo de checagem de qualidade na obra. Para alcançar este objetivo, a pesquisa foi desenvolvida por meio de uma *Design Science Research*, que propôs como artefato documentar o processo de transcrição de um modelo BIM para uso em RA através de *smartphones*.

Primeiramente, foi feita uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para buscar informações sobre o estado da arte da integração entre BIM e RA. Verificou-se que grande maioria das pesquisas levantadas utilizaram o BIM e a RA na fase de projeto, e muito pouco foi estudado acerca do uso de tal integração na aferição de qualidade em obras. Portanto, elucidou-se a lacuna de pesquisa e a necessidade de estudar a integração entre as duas ferramentas para o controle de qualidade. A revisão averiguou também quais as principais ferramentas foram utilizadas para permitir que um modelo BIM fosse corretamente exibido em RA através de um *smartphone*, comparando suas vantagens e desvantagens visando o desenvolvimento do protótipo. Essa etapa cumpriu o objetivo traçado, que era escolher quais ferramentas seriam pertinentes para o desenvolvimento do protótipo.

Antes de desenvolver o protótipo, foi necessário fazer uma avaliação sobre como fazer a conversão de um arquivo BIM para uso e desenvolvimento em um *software* de desenvolvimento em RA, conhecido como motor de jogo. Concluiu-se que o formato mais adequado de arquivo para fazer essa transcrição seria o formato .fbx, cumprindo assim mais um objetivo proposto.

Outro objetivo traçado foi o desenvolvimento de um protótipo com a finalidade de checar a qualidade na obra, conferindo se os itens construídos estavam de acordo com o projeto. As ferramentas escolhidas para o desenvolvimento foram o motor de jogo Unity, os SDKs ARCore e ARFoundation e o *software* BIM Archicad. Todo o processo de projeto e desenvolvimento foi documentado e explicado na presente pesquisa, tendo resultados satisfatórios e atendendo a finalidade para a qual foi proposto.

O último objetivo específico buscava avaliar as funcionalidades do aplicativo. A autora definiu e executou alguns experimentos para testá-lo. Grande parte dos experimentos propostos teve resultado positivo. Apenas um, o de posicionamento, foi avaliado como regular, pois a inserção do modelo através de um QR Code não trouxe a precisão almejada. Mesmo assim, o objetivo foi cumprido.

Os testes de validade foram feitos através de um questionário, onde alguns voluntários foram convidados para testar e avaliar o protótipo proposto. As principais funcionalidades do protótipo foram avaliadas em notas de 1 a 5, onde 5 era a nota máxima. Os usuários notaram a mesma limitação apontada na fase de avaliação, destacando que o rastreamento por QR Code é instável e sofre interferência de alguns fatores externos como a inclinação do *smartphone*. Mesmo assim, a maioria das médias das notas ficou superior a 4, o que possibilita concluir que o protótipo cumpriu a finalidade para o qual foi projetado.

Após analisar os resultados dos testes de avaliação e validação, foi possível responder o problema de pesquisa investigado e concluir que a RA pode ser usada para aperfeiçoar o processo de checagem de qualidade da obra, servindo como ferramenta de apoio. De um modo geral, o artefato produzido pela presente pesquisa resultou em uma documentação consistente sobre o processo de conversão de modelos BIM para RA cumprindo, podendo servir de base para pesquisas futuras e cumprindo, portanto, os objetivos propostos.

8.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no desenvolvimento da presente pesquisa, surgiram alguns tópicos que merecem um desenvolvimento futuro mais aprofundado. São eles:

- a) Desenvolvimento de um novo aplicativo, com um sistema de posicionamento diferente, como rastreamento por GPS, por exemplo;
- b) Adição de novas formas de interação com os pontos medidos, de acordo com as necessidades dos usuários;
- c) Integração do aplicativo RA com um banco de dados, para maior fluidez das informações obtidas através dos protótipos;
- d) Utilização da documentação para criação de aplicativos baseados em BIM e RA com outras funcionalidades, como desenvolvimento de projetos e segurança na obra, por exemplo.

REFERÊNCIAS

ALTABABAIT, J., YAN, W. . A user interface for parametric architectural design reviews. **CAADRIA 2015 - 20th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia: Emerging Experiences in the Past, Present and Future of Digital Architecture**, 65–74, 2015.

AMMARI, K.; HAMMAD, A. Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality. **Automation in Construction**, v. 107, p. 102940, 2019.

ANDERS, P. Cynergies: Technologies that hybridize physical and cyberspaces, in, **Connecting Crossroads of Digital Discourse**, Association for Computer Aided Design In Architecture (ACADIA), Indianapolis, IN, pp. 289–297, 2003.

APPLE Developer Documentation. Disponível em: <https://developer.apple.com/documentation/arkit/>. Acesso em 23 jun. 2020.

ARCHDAILY. **9 Augmented Reality Technologies for Architecture and Construction**. Disponível em: <https://www.archdaily.com/914501/9-augmented-reality-technologies-for-architecture-and-construction>. Acesso em 20 mai. 2020.

ARDITI, D.; GUNAYDIN, H. M. Total quality management in the construction process. **International Journal of Project Management**, v. 15, n. 4, p. 235-243, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001:2008**: Sistemas de gestão da qualidade - requisitos. Rio de Janeiro, 2008.

AURELIANO JÚNIOR, M. J. et al. Mobile Application to Support Interventions in Electric Power Substations with Augmented Reality Techniques and BIM. In: **2018 20th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)**. IEEE. p. 243-247, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 9000**: Sistemas de Gestão da Qualidade - Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro, 2000.

BARAZZETTI, L. et al. HBIM and augmented information: Towards a wider user community of image and range-based reconstructions. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, 40(5W7), 35–42, 2015

BARTZ, C. F. **Identificação de melhorias no processo de controle da qualidade em empreendimentos habitacionais de baixa renda**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (RS), 2007. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/16082/000696003.pdf?sequence=1>. Acesso em 25 abr. 2020.

BIMARIUM. Disponível em: <<https://www.bimarium.com>>. Acesso em 17 de janeiro de 2021.

BLANCO, Jose Luis et al. The new age of engineering and construction technology. **McKinsey & Company-Capital Projects & Infrastructure**, 2017.

Brasil. Código Civil (2002). **Código civil brasileiro e legislação correlata**. – 2. ed. – Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2008. 616 p

BRASIL. **Decreto nº 9.377: Estratégia Nacional de Disseminação do BIM - Estratégia BIM BR**. Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Habitação. **Avanços e Desafios: Política Nacional de Habitação**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.capacidades.gov.br/media/doc/biblioteca/SNH010.pdf>. Acesso em 25 abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat. **Portaria nº 134/ 98 Institui o PBQP-H**. Brasília, 1998. Disponível em: http://pbqp-h.mdr.gov.br/download_doc.php. Acesso em: 25 mai. 2020.

BUILD IN. **A Informatização na Construção Civil**. Disponível em: <https://www.buildin.com.br/a-informatizacao-na-construcao-civil/>. Acesso em 03 jul. 2020.

BUYUKLIEVA, B., KOSICKI, M. BIM|MAR: Assembling physical objects by virtual information. **Proceedings: 4th ACM International Symposium on Pervasive**. Displays, 257–258, 2015.

CARMIGNIANI, J.; FURHT, B. Augmented reality: an overview. **Handbook of augmented reality**, p. 3-46, 2011.

CHAI, C. et al. BIM Integration in Augmented Reality Model. **International Journal of Technology**. Volume 10(7), pp. 1266-1275, 2019.

CHAI, Changsaar et al. BIM Integration in Augmented Reality Model. **Civil Engineering**, v. 10, n. 7, 2019.

CHAI, C-S. et al. Integration of Augmented Reality in Building Information Modelling: Applicability and Practicality. **WIT Transactions on The Built Environment**, v. 192, p. 281-290, 2019.

CHAREF, R.; ALAKA, H.; EMMITT, S. Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. **Journal of Building Engineering**, v. 19, p. 242-257, 2018.

CHEN, K et al. A BIM-based location aware AR collaborative framework for facility maintenance management. **Journal of Information Technology in Construction**. 24, 360–380, 2019.

CHEN, Y.; KAMARA, J. The mechanisms of information communication on construction sites. In: **Forum Ejournal**. 2008. p. 1-32.

CHEN, Y.-J., LAI, Y.-S., LIN, Y.-H. BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment. **Automation in Construction**, 110, 2020.

CHIONNA, F. et al. Integrating building information modeling and augmented reality to improve investigation of historical buildings. **Conservation Science in Cultural Heritage**, v. 15, n. 1, p. 133-163, 2015.

CHOU, C.-C. et al. Spatiotemporal analysis and visualization of power consumption data integrated with building information models for energy savings. **Resources, Conservation and Recycling**, 123, 219–229, 2017.

CHU, M., MATTHEWS, J., LOVE, P. E. D. Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study. **Automation in Construction**, 85, 305–316, 2018.

CUPERSCHMID, A. R. M., GRACHET, M. G., FABRÍCIO, M. M.. Desenvolvimento de um ambiente de Realidade Aumentada para montagem de parede pré-fabricada em wood-frame a partir de modelo BIM. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 4, p. 63-78, 2016.

CUPERSCHMID, A. R. M. **Realidade Aumentada no processo de projeto participativo arquitetônico: desenvolvimento de sistema e diretrizes para utilização**. 2014. Tese (Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257945/1/Cuperschmid_AnaRegina_Mizrahy_D.pdf. Acesso em 01 abr. 2020.

DALLASEGA, P.; RAUCH, E.; LINDER, C. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. **Computers in Industry**, v. 99, p. 205-225, 2018.

DIAO, P.-H., SHIH, N.-J. BIM-based AR maintenance system (BARMS) as an intelligent instruction platform for complex plumbing facilities. **Applied Sciences (Switzerland)**. 9(8), 2019.

DILMERV. **Unity ARFoundation Essentials**. Disponível em: <https://github.com/dilmerv/UnityARFoundationEssentials>. Acesso em: 05 de novembro de 2020.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P. ; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Bookman Editora, 2015.

DUNSTON, P. S., SINFIELD, J. V., SHIN, D. Spatial tracking challenge for Augmented Reality on building construction sites. In: **The 4th International Structural Engineering and Construction Conference**. 2007.

EASTMAN, C. M. et al. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, 2014.

EVOLVEAR. **Viewing AR Content**. Disponível em: <<https://help.evolvear.io/viewing-ar-content/>>. Acesso em: 09 de março de 2021.

FERREIRA, J. S. W. **Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil urbano**. 1a . ed. São Paulo: LABHAB; FUPAM, 2012. 200p.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia de pesquisa científica**. Fortaleza, UEC, 2002.

FURHT, B. **Handbook of augmented reality**. Springer Science & Business Media, 2011.

G2. **What Is Augmented Reality?** Disponível em: <<https://learn.g2.com/augmented-reality>>. Acesso em: 09 de março de 2021.

GARBETT, J.; HARTLEY, T.; HEESOM, D. A multi-user collaborative BIM-AR system to support design and construction. **Automation in Construction**, v. 122, p. 103487, 2021.

GARVIN, D. A. História e evolução. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. 1992.

GHAFFARIANHOSEINI, A. et al. INTEGRATING, AUGMENTED REALITY AND BUILDING, INFORMATION MODELLING, TO FACILITATE CONSTRUCTION SITE COORDINATION. In: **Proceedings of the 16th Int'l Conference on Construction Applications of Virtual Reality**. 2016.

GHEISARI, M. et al. Integrating BIM and Panorama to Create a Semi-Augmented-Reality Experience of a Construction Site. **International Journal of Construction Education and Research**. 12(4), 303–316, 2016.

GHEISARI, M. et al. Locating building components in a facility using augmented reality vs. paper-based methods: A user-centered experimental comparison. **Computing in Civil and Building Engineering - Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering**. 850–857, 2016.

GOOGLE DEVELOPERS. **ARCore Supported Devices**. Disponível em: <<https://developers.google.com/ar/discover/supported-devices>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2021.

GOOGLE Developers. Disponível em: <https://developers.google.com/ar>. Acesso em 23 jun. 2020.

GREEN, M. In real life: instantaneous synchronisation from the built structure to the building information model using augmented reality applications. **UNSW Catalogues**. 2017.

GUIMARÃES, M. P.; MARTINS, V. F. A checklist to evaluate augmented reality applications. In: **2014 XVI Symposium on Virtual and Augmented Reality**. IEEE, 2014.

HAMED, L. **BIM do 3D ao 7D**. Disponível em <https://hashtagbim.wordpress.com/2015/10/12/bim-do-3d-ao-7d/>. Acesso em: 13 mai. 2019.

HENRYSSON, A., OLLILA, M. BILLINGHURST, M. Mobile phone based AR scene assembly. **Proceedings of the 4th international conference on Mobile and ubiquitous multimedia**, p. 95-102, 2005.

HEVNER, A. R. et al. Design science in information systems research. **MIS quarterly**, p. 75-105, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Anual da Indústria da Construção**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?>. Acesso em 03 abr. 2020

JANUZZI, U. A. **Sistema de gestão da qualidade na construção civil: um estudo a partir da experiência do PBQP-H junto às empresas construtoras da cidade de Londrina**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina.

JI, S-Y., KIM, M-K., JUN, H-J. Space management on campus of a mobile BIM-based augmented reality system. **대한건축학회논문집 계획계**, 2016.

KIMOTO, K. et al. The application of PDA as mobile computing system on construction management. **Automation in construction**, v. 14, n. 4, p. 500-511, 2005.

KOCH, C. et al. BIM-based augmented reality for facility maintenance using natural markers. **European Group for Intelligent Computing in Engineering, EG-ICE 2012 - International Workshop: Intelligent Computing in Engineering**. 2012.

KOPSIDA, M., BRILAKIS, I. BIM registration methods for mobile augmented reality-based inspection. **EWork and EBusiness in Architecture, Engineering and Construction - Proceedings of the 11th European Conference on Product and Process Modelling, ECPPM 2016**. 201–208, 2016.

KOPSIDA, M.; BRILAKIS, I. BIM registration methods for mobile augmented reality-based inspection. **eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2016: Proceedings of the 11th European Conference on Product and Process Modelling (ECPPM 2016)**, Limassol, Cyprus. CRC Press, p. 201, 2016

KWON, O.-S., PARK, C.-S., LIM, C.-R. A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality. **Automation in Construction**. 46, 74–81, 2014.

LACERDA, D. P. et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão da Produção**, São Carlos, vol.20, n.4, p. 741-761, 2013.

Landi, M. (2016). **Pokemon Go app named as the most popular game of 2016 on Google Play**, Mirror, 2016.

LE, Q. T. et al. A framework for using mobile based virtual reality and augmented reality for experiential construction safety education. **International Journal of Engineering Education**, v. 31, n. 3, p. 713-725, 2015.

LIMMER, C. V. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras**. Livros Tecnicos e Cientificos, 1997.

LIN, Z. Y., PETZOLD, F., MA, Z. L. A real-time 4D augmented reality system for modular construction progress monitoring. **Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction**, 743–748, 2019.

MARZOUK, M. et al. Exploitation visualization techniques in construction projects using BIM, 2015.

McKinsey. **Augmented and virtual reality: The promise and peril of immersive technologies**. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/augmented-and-virtual-reality-the-promise-and-peril-of-immersive-technologies>>. Acesso em: 17 de março de 2021.

McKinsey. **Construction and Building Technology – poised for a breakthrough?** Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/advanced%20electronics/our%20insights/construction%20and%20building%20technology%20poised%20for%20a%20breakthrough/construction-and-building-technology-poised-for-a-breakthrough-vf.pdf>>. Acesso em: 17 de março de 2021.

MCKINSEY. **Imagining Construction's Digital Future**. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future>. Acesso em 1 abr. 2020.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MEŽA, S., TURK, Ž., DOLENC, M. Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system. **Automation in construction**, v. 42, p. 1-12, 2014.

MEŽA, S., TURK, Ž., DOLENC, M. Measuring the potential of augmented reality in civil engineering. **Advances in engineering software**, v. 90, p. 1-10, 2015.

MILGRAM, P., COLOQUOUN, A. taxonomy of real and virtual world display integration. **Mixed reality: Merging real and virtual worlds**, v. 1, n. 1999, p. 1-26, 1999.

MILGRAM, P. et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: **Telemanipulator and telepresence technologies**. International Society for Optics and Photonics, 1995. p. 282-292.

MILLER, CONSTINE (2015). Apple Acquires Augmented Reality Company Metaio. Disponível em: <https://techcrunch.com/2015/05/28/apple-metaio/>. Acesso em 23 jun. 2020.

MIRSHOKRAEI, M., DE GAETANI, C. I., MIGLIACCIO, F. A Web-Based BIM–AR Quality Management System for Structural Elements. **Applied Sciences**, v. 9, n. 19, p. 3984, 2019.

NATEPHRAA, W. MOTAMEDIB, A. Live data visualization of IoT sensors using Augmented Reality (AR) and BIM. In: **ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction**. IAARC Publications, p. 632-638, 2019.

NETSCAN. **O que a digitalização de documentos e a indústria 4.0 tem em comum?** Disponível em: <<https://netscandigital.com/blog/o-que-a-digitalizacao-de-documentos-e-a-industria-4-0-tem-em-comum/>>. Acesso em: 09 de março de 2021.

NOURBAKHS, M. et al. Mobile application prototype for on-site information management in construction industry. **Engineering, construction and architectural management**, 2012.

OLSSON, T. Concepts and subjective measures for evaluating user experience of mobile augmented reality services. In: **Human factors in augmented reality environments**. Springer, New York, NY, 2013.

PARK, C.-S., KIM, H.-J. A framework for construction safety management and visualization system. **Automation in Construction**, 33, 95–103, 2012.

PARK, C. S et al. A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. **Automation in Construction**, v. 33, p. 61-71, 2013.

PATTI, E. et al. Combining building information modelling and ambient data in interactive virtual and augmented reality environments. **IT Professional**, 2017.

PICCHI, F. A.; AGOPYAN, V. **Sistemas da qualidade: uso em empresas de construção de edifícios**. 1993. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

PINHEIRO, A. C. F. B.; CRIVELARO, M. **Qualidade na Construção Civil**. São Paulo: Érica, 2014.

PROTCHENKO, K., DĄBROWSKI, P., GARBACZ, A. Development and Assessment of VR/AR Solution for Verification During the Construction Process. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, p. 04083, 2018.

RAHIMIAN, F. P. et al. Integrating BIM and augmented reality for interactive architectural visualisation. **Construction Innovation**, 2014.

RATAJCZAK, J., RIEDL, M., MATT, D. T. BIM-based and AR Application combined with location-based management system for the improvement of the construction performance. **Buildings**, v. 9, n. 5, p. 118, 2019.

RATAJCZAK, Julia et al. BIM-Based augmented reality tool for the monitoring of construction performance and progress. **2019 European Conference on Computing in Construction, Greece**, 2019.

RAUSCHNABEL, P. A.; ROSSMANN, A.; TOM DIECK, M. C. An adoption framework for mobile augmented reality games: The case of Pokémon Go. **Computers in Human Behavior**, v. 76, p. 276-286, 2017.

SAAR, C. C., et al. BIM Integration in Augmented Reality Model. **International Journal of Technology**, v. 10, n. 7, p. 1266-1275, 2019.

SALGADO, H.; PASDIORA, L.; SCHEER, S.; SANTOS, A. **Aplicações de Realidade Aumentada e Virtual na Indústria da construção civil – revisão sistemática da literatura**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

SALGADO, H. D., PASDIORA, L. Aplicações De Realidade Aumentada E Virtual Na Indústria Da Construção Civil - Revisão Sistemática Da Literatura. In: **Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, 18., 2020, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2020. No prelo.

SAMPAIO, R. F., MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.

SCHNABEL, M. A. Framing mixed realities. In: **Mixed Reality In Architecture, Design And Construction**. Springer, Dordrecht, 2009. p. 3-11.

SCHWAB, K. **Why Everyone Must Get Ready For The 4th Industrial Revolution**. 2016.

SINGH, A. R., SUTHAR, V., DELHI, V. S. K. Augmented reality (AR) based approach to achieve an optimal site layout in construction projects. **ISARC 2017 - Proceedings of the 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction**, 165–172, 2017.

SNIGDHARNAL. Pokémon GO - The game using AR. Disponível em: <https://snigdharnal.home.blog/2019/03/11/pokemon-go-the-game-using-ar/>. Acesso em 01 jul. 2020.

SOMAN, R. K., BIRCH, D., WHYTE, J. K. Framework for shared visualization and real-Time information flow to the construction site. **Digital Proceedings of the 24th EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering 2017**, 286–293, 2017.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.

SYDORA, C., STROULIA, E. Augmented Reality on Building Information Models. In: **2018 9th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)**. IEEE, p. 1-4, 2018.

THOMAZ, E. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: Editora Pini, 2001.

TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Editora SBC, 2006.

UIMONEN, M., HAKKARAINEN, M. Accessing BIM-Related Information Through AR. **ISMAR Adjunct**, p. 399-400, 2018.

UNITY Documentation, 2019. Disponível em: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@2.2/manual/index.html>. Acesso em 23 jun. 2020.

UNITY DOCUMENTATION. **How to import 3d Models to Unity**. Disponível em: <https://docs.unity3d.com/560/Documentation/Manual/HOWTO-importObject.html>. Acesso em: 17 de janeiro de 2021.

UNITY TECHNOLOGIES. **AR Foundation samples**. Disponível em: <https://github.com/Unity-Technologies/arfoundation-samples>. Acesso em: 07 de setembro de 2020.

UNIVATES. **Museu de Ciências - Realidade Aumentada**. Disponível em: <https://www.univates.br/mcn/realidade-aumentada>. Acesso em: 09 de março de 2021.

UNREAL Engine Docs. Disponível em: <https://docs.unrealengine.com/en-US/Platforms/AR/HandheldAR/AROverview/index.html>. Acesso em 23 jun. 2020.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design research in information systems**. 2004.

VASILEVSKI, N., BIRT, J. Analysing construction student experiences of mobile mixed reality enhanced learning in virtual and augmented reality environments. **Research in Learning Technology**, v. 28, 2020.

VASSIGH, S. et al. Integrating Building Information Modeling with Augmented Reality for Interdisciplinary Learning. In: **2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)**. IEEE, p. 260-261, 2016.

VUFORIA Developer Library. Disponível em: <https://library.vuforia.com/getting-started/overview.html>. Acesso em 23 jun. 2020.

WANG, K-C. et al. Applying BIM and visualization techniques to support construction quality management for soil and water conservation construction projects. **ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction**. IAARC Publications, p. 1-8, 2018.

WANG, X., SCHNABEL, M. **Mixed reality in architecture, design, and construction**. Springer Science & Business Media, 2008.

WANG, X. et al. Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research. **Automation in construction**, v. 32, p. 1-13, 2013.

WANG, X. et al. Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. **Automation in Construction**, v. 40, p. 96-105, 2014.

WILLIAMS, G. et al. BIM2MAR: an efficient BIM translation to mobile augmented reality applications. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 1, p. A4014009, 2015.

WILLIAMS, G. GHEISARI, M. IRIZARRY, J. Issues of translating BIM for mobile augmented reality (MAR) environments. In: **Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network**. p. 100-109, 2014.

WOLDE, H. T, VIRKI T. Insight: Look, no hands! Augmented reality gets a grip. 2012. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-augmentedreality/insight-look-no-hands-augmented-reality-gets-a-grip-idUSBRE85K0X020120621>. Acesso em 23 jun. 2020.

WOOD JR, T. URDAN, F. T. Gerenciamento da qualidade total: uma revisão crítica. **Revista de Administração de Empresas**, v. 34, n. 6, p. 46-59, 1994.

WOODWARD, C. et al. Implementation and evaluation of a mobile augmented reality system for building maintenance. In: **Proceedings of the 14th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality**. p. 18, 2014.

ZAHER, M., GREENWOOD, D., MARZOUK, M. Mobile augmented reality applications for construction projects. **Construction Innovation**, 2018.

ZAKI, T., KHALIL, C. QR-coded clash-free drawings: an integrated system of BIM and Augmented reality to improve construction project visualization. **5th International/11th Construction Specialty Conference, 5e International/11e Conférence spécialisée sur la construction, Vancouver, British Columbia**. 2015.

APÊNDICE I – CÓDIGO FITA MÉTRICA (ADAPTADO DE: DILMERV)

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.XR.ARFoundation;
using TMPPro;
using UnityEngine.UI;

[RequireComponent(typeof(ARRaycastManager))]
public class MeasurementController : MonoBehaviour
{
    [SerializeField]
    private GameObject measurementPointPrefab;

    [SerializeField]
    private float measurementFactor = 100f;

    [SerializeField]
    private Vector3 offsetMeasurement = Vector3.zero;

    [SerializeField]
    private TextMeshPro distanceText;

    [SerializeField]
    private ARCameraManager arCameraManager;

    private LineRenderer measureLine;

    private ARRaycastManager arRaycastManager;

    private GameObject startPoint;

    private GameObject endPoint;

    private Vector2 touchPosition = default;

    private static List<ARRaycastHit> hits = new List<ARRaycastHit>();

    public float distancia = -1.0f;

    [SerializeField]
    public Material myMaterial;

    void Awake()
    {
        arRaycastManager = GetComponent<ARRaycastManager>();

        startPoint = Instantiate(measurementPointPrefab, Vector3.zero,
Quaternion.identity);
        endPoint = Instantiate(measurementPointPrefab, Vector3.zero, Quaternion.identity);

        measureLine = GetComponent<LineRenderer>();

        startPoint.SetActive(false);
        endPoint.SetActive(false);
    }
}

```

```

    }

    private void OnEnable()
    {
        if (measurementPointPrefab == null)
        {
            Debug.LogError("measurementPointPrefab must be set");
            enabled = false;
        }
    }

    void Update()
    {
        if (Input.touchCount > 0)
        {
            measureLine.enabled = true;
            Touch touch = Input.GetTouch(0);
            if (touch.phase == TouchPhase.Began)
            {
                touchPosition = touch.position;

                if (arRaycastManager.Raycast(touchPosition, hits,
UnityEngine.XR.ARSubsystems.TrackableType.PlaneWithinPolygon))
                {
                    startPoint.SetActive(true);

                    Pose hitPose = hits[0].pose;
                    startPoint.transform.SetPositionAndRotation(hitPose.position,
hitPose.rotation);
                }

                if (touch.phase == TouchPhase.Moved)
                {
                    touchPosition = touch.position;

                    if (arRaycastManager.Raycast(touchPosition, hits,
UnityEngine.XR.ARSubsystems.TrackableType.PlaneWithinPolygon))
                    {
                        measureLine.gameObject.SetActive(true);
                        endPoint.SetActive(true);

                        Pose hitPose = hits[0].pose;
                        endPoint.transform.SetPositionAndRotation(hitPose.position,
hitPose.rotation);
                    }
                }
            }

            if (startPoint.activeSelf && endPoint.activeSelf)
            {
                distanceText.transform.position = endPoint.transform.position +
offsetMeasurement;
                distanceText.transform.rotation = endPoint.transform.rotation;
                measureLine.SetPosition(0, startPoint.transform.position);
                measureLine.SetPosition(1, endPoint.transform.position);

                distancia = Vector3.Distance(startPoint.transform.position,
endPoint.transform.position) * measurementFactor;
                distanceText.text = $"Distance:
{(Vector3.Distance(startPoint.transform.position, endPoint.transform.position) *
measurementFactor).ToString("F2")}" + " cm";
                Debug.Log(distancia);
            }
        }
    }

```

```
    }  
    public float Distance()  
    {  
        return distancia;  
    }  
}
```

APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO PARA VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO

QUESTIONÁRIO – FUNCIONALIDADE PROTÓTIPO APLICATIVO RA

Você está sendo convidado (a) a participar como voluntário de um estudo para fins acadêmicos, que tem como objetivo avaliar o protótipo de um aplicativo que visa integrar BIM e Realidade Aumentada. A pesquisa integra a dissertação de mestrado da aluna Livia Pasdiora, do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil;

Destaca-se o **caráter pessoal** do trabalho, que consiste no agrupamento das respostas dos questionários, refletindo o conjunto dos dados.

1) Formação

() Arquitetura () Engenharia Civil () Outras Engenharias () Outros

- 2) **A seguir, você deverá avaliar as funcionalidades do aplicativo de acordo sua percepção acerca do uso do protótipo. Você poderá dar uma nota de 1 a 5, onde 1 é a mais baixa e 5 a mais alta. Circule a nota que mais se adequa à sua opinião.**

Nº	Item	Nota
1	Quão possível é identificar o que está acontecendo durante todas as interações?	1 – 2 – 3 – 4 – 5
2	Quão fácil é executar uma ação "desfazer"?	1 – 2 – 3 – 4 – 5
3	A aplicação alcança o objetivo proposto?	1 – 2 – 3 – 4 – 5
4	O número de objetos virtuais na cena é apropriado?	1 – 2 – 3 – 4 – 5
5	O número de opções de interação é satisfatório?	1 – 2 – 3 – 4 – 5
6	A liberdade de movimento durante a execução do aplicativo é satisfatória?	1 – 2 – 3 – 4 – 5
7	O tempo de carregamento dos objetos virtuais na cena é adequado?	1 – 2 – 3 – 4 – 5
8	Os objetos virtuais estão posicionados corretamente em relação ao mundo real?	1 – 2 – 3 – 4 – 5
9	É fácil lembrar das funcionalidades da aplicação?	1 – 2 – 3 – 4 – 5
10	A linha de aprendizado é fácil para novos usuários?	1 – 2 – 3 – 4 – 5
11	É fácil colocar o marcador em uma posição apropriada e orientação a ser detectada pela câmera / sensor?	1 – 2 – 3 – 4 – 5
12	O usuário é instruído da forma correta de operar o aplicativo durante a interação?	1 – 2 – 3 – 4 – 5
13	O sistema de rastreamento do marcador é estável?	1 – 2 – 3 – 4 – 5